

文章编号:1006—2106(2002)02—0050—05

涵洞顶填土压力的讨论及计算

王秉勇*

(中铁西北科学研究院, 兰州 730000)

提 要: 通过多次对涵洞变形产生原因的分析, 认为原因是多方面的, 而涵顶填土的作用较为突出, 涵顶填土压力的计算, 直接关系到结构设计。本文对铁路与公路桥涵设计规范有关填土荷载的计算作了介绍和对比, 并提出相应的合理计算方法。

关键词: 涵洞; 涵顶填土; 荷载压力; 计算方法

中图分类号: U412 **文献标识码:** A

1 引言

道路工程中, 常常根据地形和使用要求设置不同类型的涵洞。而设计中对涵洞顶的荷载计算在不同的规范中均有相应的规定和方法。但是笔者在多年修建公路及铁路工程的实践中, 多次见到新建涵洞在道路未通车之前就开裂、受挤压变形等现象。而这类现象在公路工程中尤为突出, 几乎所有的新建拱涵拱圈开裂、部分圆涵被压扁。最有代表性的开裂的例子是××高速公路 K154+043 处设置的一道 $\phi 1.5$ m 圆涵未通车就被涵顶填土压扁, 管顶产生 0.6 cm 的裂缝, 管径发生明显变化, 如图 1 所示。该涵两侧为松散的砂质土层。

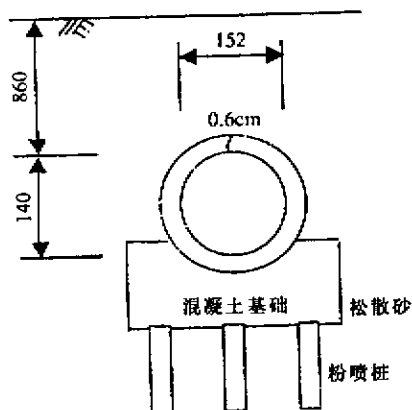


图 1 涵管变形示意图

通过多次对涵洞变形产生原因的分析, 笔者认为原因是多方面的。如拱涵地基承载力不足、施工过程存在缺陷以及其它一些因素等。但是有些变形明显不是以上原因所致, 或不仅仅是以上原因, 而涵顶填土的作用较为突出。所以涵顶填土压力的计算, 直接关系到结构设计。如果涵顶荷载计算偏小, 而据此设计的结构就不足以承受涵顶荷载而产生变形甚至破坏。图 1 反映的问题就说明了这一点。由此说明, 目前行业、部门采用的涵顶填土荷载的计算方法确有商榷之处。

2 设计规范中的填土荷载计算

以公路和铁路设计规范为例, 都存在恒载和活载, 根据问题出现的时段, 不考虑活载, 只讨论涵洞顶的填土荷载。

2.1 现行《铁路桥涵设计基本规范》(TB10002.1-99)

该规范对涵顶填土的竖向压力和水平压力的计算有如下规定:

$$\text{竖向压力 } P = K\gamma H \quad (\text{式 } 1)$$

$$\text{水平压力 } e = \xi\gamma H_1 \quad (\text{式 } 2)$$

其中: H ——涵顶填土高度;

H_1 ——计算位置的填土高度;

γ ——填土容重;

ξ ——水平土压力系数, 经久压实土取 0.25, 新填土取 0.35;

K ——根据 H/D (D 为涵洞外部宽度) 确定的系

数。而对经久压实土取 1.0。

2.2 关于 K 值的讨论

因为填土在完成后,都要发生竖向沉落,一般认为涵洞顶填土的沉降小于两侧填土的沉降,所以两侧填土通过摩擦将部分荷载传至涵洞顶面。也就是说涵顶实际承受的竖向压力大于涵顶覆土压力即土柱荷载。这也是马斯顿及国内许多部门所证实的“等沉陷”理论。式 1 中的 K 对新填土而言是一个大于 1 的系数。铁路设计规范中给出了一个参考取值表,如表 1。表中 D 为涵洞的外形宽度。

K 值随填土固结的逐步完成而逐渐接近于 1.0。公路工程中,拱涵拱圈一般在填土完成后很短的时间内就开裂,但大多数随时间的推移不再发展与此有一定关联。

表 1 K 的取值表

H/D	0.1	0.5	1	2	3	4
K	1.04	1.20	1.40	1.45	1.50	1.45
H/D	5	6	7	8	9	≥ 10
K	1.40	1.35	1.3	1.25	1.20	1.15

2.3 《公路桥涵设计通用规范》中对填土荷载的计算

参见式 3 或式 4:

$$\text{竖向压力 } P_v = \gamma H \quad (\text{式 3})$$

$$\text{水平压力 } P_H = \lambda \gamma H \quad (\text{式 4})$$

其中: H ——涵顶填土高度;

ϕ ——填土内摩擦角;

γ ——填土容重;

λ ——压力系数。 $\lambda = \tan^2(45^\circ - \phi/2)$ 。

2.4 铁路与公路设计规范的对比

通过上面列举的两个行业桥涵设计规范的对比不难发现,公路涵洞设计时填土的竖向荷载计算与铁路计算方法有较大差异。公路仅计算涵顶土柱荷载,而铁路考虑了诸多因素。对于本文引言中提出的圆涵被压扁开裂的事例来讲,按铁路方法计算 $H/D=5$,则 $K=1.40$ 。也就是说,公路规范按土柱荷载进行结构设计,但其构造物要承受最大为 140% 的设计荷载。所以才产生了圆涵被压扁开裂的事故。

通过两个设计规范的对比可以看出,铁路规范对涵洞顶荷载的计算考虑比较周全,用一个综合系数 K 集中反映新填土在固结沉降过程中对涵顶的复杂作用。但 K 值随 H/D 变化的趋势比较明显地反映出,当

H/D 大于某个值后 K 值不再增加反而减小。为此,本文在讨论规范的基础上,就涵洞顶实际受力情况作一次探讨。

3 涵洞顶荷载分析

如上所述,新填土对涵洞顶产生的竖向荷载一定大于涵顶土柱荷载;而铁路设计规范所引用的 K 值在 $H/D=3$ 时为最大。尽管规范在确定 K 值时已做了多方面的考虑,但随着填土性质的变化,取值将产生较大偏差。根据以上观点,本文提出一种新的计算方法,力求使施工期间至竣工初期涵顶竖向压力最大限度地接近实际。

3.1 计算假定

3.1.1 涵顶填土及两侧填土在固结沉降过程中,两侧填土的下沉量相等,且大于涵顶部分填土的下沉量。

3.1.2 涵顶填土以涵顶宽度为基础,形成一楔形稳定体,楔形顶点的夹角为土体破裂角, $\beta = \pi/4 - \phi/2$,其中 ϕ 为填土的内摩擦角。即对同一种填土,无论填土高度如何,楔形体的顶角不变。图 2 中的 α 是填土表面与涵洞顶形成的等腰三角形顶角的一半。据此涵洞顶填土就存在三种作用形式,如图 2 所示。

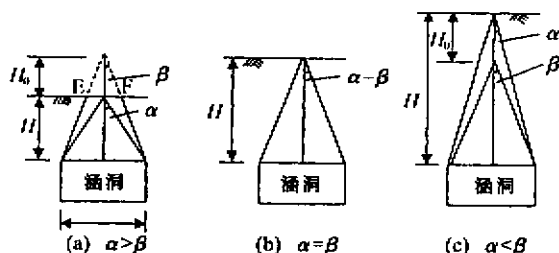


图 2 不同填土高度时的土体破裂情形

3.1.3 两侧填土沿楔形两个斜面与楔形体产生相对运动或有相对运动的趋势。

3.2 计算公式推导

3.2.1 当 $\alpha > \beta$ 时,计算图式如图 2(a)。其中 $\beta = \pi/4 - \phi/2$ 。 $H_0 = \frac{D/2}{\tan \beta} - H = \frac{D}{2} - H$

$$\overline{EF} = 2H_0 \tan \beta = D - 2H \tan \beta$$

楔形体的重量: $W_1 = \gamma (\overline{EF} + D) H / 2 = \gamma h (D - H \tan \beta)$

楔形体斜面上的填土压力的计算比较复杂,两侧的填土下沉时,斜面对其产生约束作用,反映为两侧填土对涵顶产生附加力。这个约束力根据填土抗剪强度进行计算,可假定土体发挥了最大的抗剪强度。在路堤顶面以下某一深度 H_i 处的单元受力分析见图 3。

在单元体上作用的荷载有竖向的 γH_i 、在斜面上分解为垂直斜面的分力 P_{oi} 和沿斜面向下作用的动力。此时斜面上的约束力 W_2 的计算为：

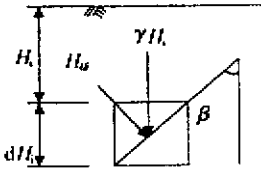


图 3 单元受力分析

$$W_2 = cH/\cos\beta + \int_0^H \gamma H_i \sin\beta \tan\phi / \cos\beta \times dH_i$$
$$= cH/\cos\beta + 0.5\gamma H^2 \tan\beta \tan\phi$$

3.2.2 当 $\alpha=\beta$ 时,同样可求得 W_1 、 W_2 如下：

$$W_1 = 0.5\gamma HD$$
$$W_2 = cH/\cos\beta + 0.5\gamma H^2 \tan\beta \tan\phi$$

3.2.3 当 $\alpha<\beta$ 时,假定 H_0 范围内的土体从楔形顶点分开分别作用在楔形体的两个斜面上。此时的计算如下：

$$H_0 = H - 0.5D/\tan\beta$$
$$W_1 = 0.25\gamma D^2/\tan\beta$$
$$W_2 = c(H - H_0)/\cos\beta + \int_{H_0}^H \gamma H_i \sin\beta \tan\phi / \cos\beta \times dH_i$$
$$= 0.5cD/\sin\beta + 0.5\gamma(H^2 - H_0^2)\tan\beta \tan\phi$$

表 2 涵顶填土压力计算表(一)
 $D=2\text{ m}$ ($c=20\text{ kPa}$, $\phi=20^\circ$)

$H(\text{m})$		3	4	5	6	7	8	9	10
铁路规范	H/D	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5
	K	1.425	1.45	1.475	1.5	1.475	1.45	1.425	1.4
	$K\gamma H$	153.9	208.8	265.5	324.0	371.7	417.6	461.7	504.0
公路规范		108	144	180	216	252	288	324	360
本文方法		208.1	267.3	302.0	315.1	328.2	341.3	354.4	367.5

表 3 涵顶填土压力计算表(二)
 $D=4\text{ m}$ ($c=20\text{ kPa}$, $\phi=20^\circ$)

$H(\text{m})$		3	4	5	6	7	8	9	10
铁路规范	H/D	0.75	1	1.25	1.5	1.75	2	2.25	2.5
	K	1.3	1.4	1.41	1.425	1.44	1.45	1.46	1.47
	$K\gamma H$	280.8	403.2	507.6	648	705.8	835.2	916.2	1 065.6
公路规范		216	288	360	432	504	576	648	720
本文方法		316.1	411.3	501.4	586.5	666.4	741.3	811.2	838.2

$$= 0.5cD/\sin\beta + 0.5\gamma D(H - 0.25D/\tan\beta)\tan\phi$$

综合上面的计算,涵顶填土压力的计算公式可归纳为：

$$P = W_1 + 2W_2$$
$$P = \begin{cases} \gamma h(D - H\tan\beta) + 2cH/\cos\beta + \gamma H^2 \tan\beta \tan\phi & \alpha > \beta \\ 0.5\gamma HD + 2cH/\cos\beta + \gamma H^2 \tan\beta \tan\phi & \alpha = \beta \\ 0.25\gamma D^2/\tan\beta + cD/\sin\beta + \gamma D(H - 0.25D/\tan\beta)\tan\phi & \alpha < \beta \end{cases}$$

其中： $\alpha=\tan(0.5D/H)$ ；
 $\beta=\pi/4-\phi/2$ ；
 γ ——填土容重(kN/m^3)；
 H ——填土高度(m)；
 c ——填土的粘聚力(kPa)；
 ϕ ——填土的内摩擦角($^\circ$)；
 D ——涵洞外侧宽度(m)。

4 计算比较

以下根据铁路和公路设计规范的计算方法以及本文方法计算不同填土高度、不同涵洞顶宽度下的填土压力。

计算参数： $H=3\sim 10\text{ m}$, $\gamma=18\text{ kN}/\text{m}^3$, c 、 ϕ 值见表头所示。

$D=2、4、6\text{ m}$ 。计算结果见表 2。

表 4 涵顶填土压力计算表(三)
 $D=6\text{ m}$ ($c=20\text{ kPa},\phi=20^\circ$)

$H(\text{m})$		3	4	5	6	7	8	9	10
铁路规范	H/D	0.5	0.7	0.8	1	1.2	1.3	1.5	1.7
	K	1.20	1.28	1.32	1.40	1.41	1.415	1.425	1.435
	$K\gamma H$	388.8	553.0	712.8	907.2	1 066.0	1 222.6	1 385.1	1 549.8
公路规范		324	432	540	648	756	864	972	1 080
本文方法		424.1	555.3	681.4	802.5	918.4	1 029.3	1 135.2	1 235.9

表 5 涵顶填土压力计算表(四)
 $D=2\text{ m}$ ($c=0\text{ kPa},\phi=35^\circ$)

$H(\text{m})$		3	4	5	6	7	8	9	10
铁路规范	H/D	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5
	K	1.425	1.45	1.475	1.5	1.475	1.45	1.425	1.4
	$K\gamma H$	153.9	208.8	265.5	324.0	371.7	417.6	461.7	504.0
公路规范		108	144	180	216	252	288	324	360
本文方法		103.8	136.4	168.2	199.0	228.9	257.8	285.8	312.8

表 6 涵顶填土压力计算表(五)
 $D=4\text{ m}$ ($c=0\text{ kPa},\phi=35^\circ$)

$H(\text{m})$		3	4	5	6	7	8	9	10
铁路规范	H/D	0.75	1	1.25	1.5	1.75	2	2.25	2.5
	K	1.3	1.4	1.41	1.425	1.41	1.45	1.46	1.47
	$K\gamma H$	280.8	403.2	507.6	648	705.8	835.2	946.2	1 065.6
公路规范		216	288	360	432	504	576	648	720
本文方法		211.8	280.4	348.2	415.0	480.9	545.8	609.8	672.8

表 7 涵顶填土压力计算表(六)
 $D=6\text{ m}$ ($c=0\text{ kPa},\phi=35^\circ$)

$H(\text{m})$		3	4	5	6	7	8	9	10
铁路规范	H/D	0.5	0.7	0.8	1	1.2	1.3	1.5	1.7
	K	1.20	1.28	1.32	1.40	1.41	1.415	1.425	1.425
	$K\gamma H$	388.8	553.0	712.8	907.2	1 066.0	1 222.6	1 385.1	1 549.8
公路规范		342	432	540	648	756	864	972	1 080
本文方法		319.0	424.4	528.2	631.0	732.9	833.8	933.8	1 032.8

5 讨论

通过上面的计算可以看出,当填料为一般的粘沙土时,用本文方法计算的涵顶填土压力在 $H=4\sim6\text{ m}$ 范围非常接近铁路规范的计算结果。但是,当填料本身

不存在粘聚力时,用本文方法的计算结果则明显比铁路规范计算结果小,而接近公路规范的土柱荷载。这也说明涵顶填土荷载与填料的性质有很大的关系。如果土的粘聚力大、内摩擦角小,则随着土体破裂角的增大而对涵顶产生的附加力就大。而粘聚力为零时,则土体

的破裂角就很小,此时涵顶稳定楔形体接近于矩形,这也是本文方法计算结果接近于土柱结果的一个重要原因。

由涵顶荷载 P 的计算式及计算结果反映,涵顶填土高度增大时,对涵洞顶产生的作用荷载尽管呈正比增加,但不是线性关系。

由以上结果还可以看出,针对不同性质的填土,铁路和公路的计算方法均存在不同缺陷。这种缺陷现行规范的计算方法本身是无法克服的,所以寻求一种比较完善的计算方法计算涵洞顶的填土荷载,才能使设计的结构在填土初期不致破坏。本文的方法则基本上克服了上述两种规范中计算方法的不足之处。

6 结束语

6.1 涵洞顶荷载的计算,必须紧密结合填料的物理力学性质,因为填料的粘聚力对涵顶荷载大小影响相当

大。

6.2 当填土高度在 $3\sim 7$ m 范围时,对一般粘性土,用本文方法和铁路规范方法计算的荷载均可用于结构设计。而公路规范的计算结果明显偏小,不利于结构设计。而填料为砂性土时,公路计算方法和本文方法比较合理,而铁路计算方法过于保守。

6.3 当涵顶填土高度超过 7 m 时,铁路方法和公路方法均与实际的受力情形有较大出入,所以用本文的计算方法更接近于实际的受力状态。

参考文献

- [1] 华东水利学院土力学教研室. 土工原理与计算[M]. 水利出版社,1979.
- [2] TB10002.1-99. 铁路桥涵设计基本规范[S]. 铁道出版社.
- [3] JTJ021-89. 公路桥涵设计通用规范[S]. 交通出版社.

DISCUSSION AND CALCULATION ON LOADING PRESSURE OF SOIL FILLED ON TOP OF CULVERT

WANG Bing-yong

Northwest Research Institute of CREC

Abstract: Through analyses of the reasons which cause the deformation of culvert or tunnel several times, it is considered that there are many reasons, but the role of the soil filled on the top of culvert is more significant, which affects directly on the structural design. Based on the railway and highway bridge and tunnel design standards, the loading calculations of the soil filled on the top of culvert are introduced and compared, and the more reasonable calculating method has been proposed in this paper.

Key words: culvert; soil filled on the top of culvert; loading pressure; calculating method

(上接第 60 页)

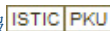
PRELIMINARY DISCUSSION ON ALLOCATION OF CONSTRUCTION MACHINERY DURING CONSTRUCTING SUBWAY'S SECTION BY USING MINING METHOD

FANG Jun-bo^{1,2}, GUO Lei²

¹Northern Jiaotong University; ²Scientific Research Institute of China Railway Tunnel Engineering Group Co.

Abstract: The northern district of the Hai-Gong Section was a test section on the No. II line of Guangzhou Subway, which was constructed by using the mining method. The allocated situation of construction machinery in this district is introduced in this paper, and compared with several sections on the No. I and No. II lines of Guangzhou Subway, in which the mining method was used. The allocation model of construction machinery to implement low investment and safety rapid excavation for urban subway's section has been proposed. It provides an example valuable as reference for allocation of construction machinery during constructing subway's section by using the mining method hereafter.

Key words: subway's section; mining method; machinery allocation; transport on rail

作者: [王秉勇](#)
作者单位: [中铁西北科学研究院, 兰州, 730000](#)
刊名: [铁道工程学报](#) 
英文刊名: [JOURNAL OF RAILWAY ENGINEERING SOCIETY](#)
年, 卷(期): 2002 (2)
被引用次数: 24次

参考文献(3条)

1. [华东水利学院土力学教研室](#) [土工原理与计算](#) 1980
2. [TB10002.1-99](#). 铁路桥涵设计基本规范
3. [JTJ 021-1989](#). 公路桥涵设计通用规范

本文读者也读过(10条)

1. [杨锡武](#). [YANG Xi-wu](#) [山区公路高填方涵洞土压力计算理论研究综述](#)[期刊论文]-[重庆交通学院学报](#)2005, 24 (4)
2. [邓国华](#). [邵生俊](#). [Deng Guohua](#). [Shao Shengjun](#) [填埋式涵洞上覆土压力的有限元分析](#)[期刊论文]-[岩石力学与工程学报](#)2004, 23 (z1)
3. [李永刚](#). [孙建生](#) [软基涵洞土压力分析](#)[期刊论文]-[土木工程学报](#)2003, 36 (6)
4. [李永刚](#). [李珠](#). [张善元](#). [LI Yong-gang](#). [LI Zhu](#). [ZHANG Shan-yuan](#) [矩形沟埋涵洞顶部垂直土压力](#)[期刊论文]-[工程力学](#)2008, 25 (1)
5. [娄奕红](#). [王秉勇](#) [涵洞顶填土压力的计算分析](#)[期刊论文]-[岩土力学](#)2003, 24 (3)
6. [冯忠居](#). [张新占](#) [涵洞土压力与填土沉降差关系分析](#)[期刊论文]-[内蒙古公路与运输](#)2002 (1)
7. [杨锡武](#). [YANG Xi-wu](#) [高填方涵洞土压力变化规律与影响因素的数值模拟研究](#)[期刊论文]-[重庆交通学院学报](#)2005, 24 (5)
8. [张书俭](#). [ZHANG Shu-jian](#) [涵洞垂直土压力计算方法探讨——上埋式涵洞浅埋深时的简化公式法](#)[期刊论文]-[山西水利科技](#)2007 (3)
9. [严东方](#). [林从谋](#). [YAN Dong-fang](#). [LIN Cong-mou](#) [上埋式涵洞顶部垂直土压力计算方法探讨](#)[期刊论文]-[地下空间与工程学报](#)2007, 3 (2)
10. [杨锡武](#). [张永兴](#). [Yang Xiwu](#). [Zhang Yongxing](#) [公路高填方涵洞土压力变化规律及计算方法研究](#)[期刊论文]-[土木工程学报](#)2005, 38 (9)

引证文献(24条)

1. [邓国华](#). [邵生俊](#) [填埋式涵洞上覆土压力的有限元分析](#)[期刊论文]-[岩石力学与工程学报](#) 2004 (z1)
2. [李利峰](#). [宿钟鸣](#) [山区高填方路堤涵洞病害主因分析及工程对策](#)[期刊论文]-[铜仁学院学报](#) 2013 (4)
3. [杨锡武](#). [张永兴](#) [山区公路高填方涵洞的成拱效应及土压力计算理论研究](#)[期刊论文]-[岩石力学与工程学报](#) 2005 (21)
4. [杨锡武](#). [张永兴](#) [山区公路高填方涵洞加筋桥减载方法及其设计理论研究](#)[期刊论文]-[岩石力学与工程学报](#) 2005 (9)
5. [赵丽颖](#) [山区公路高填方涵洞的设计问题研究](#)[期刊论文]-[中国新技术新产品](#) 2009 (4)
6. [王长运](#). [李永刚](#) [矩形断面沟埋式涵洞垂直土压力的分析](#)[期刊论文]-[太原理工大学学报](#) 2005 (1)
7. [郭力源](#). [李祝龙](#). [梁养辉](#) [荷载作用下钢波纹板小桥土压力分析](#)[期刊论文]-[筑路机械与施工机械化](#) 2013 (11)
8. [王艳丽](#). [李祝龙](#). [吴大中](#) [钢波纹管涵洞的薄壳效应](#)[期刊论文]-[公路交通科技](#) 2008 (5)
9. [杨锡武](#). [张永兴](#) [公路高填方涵洞土压力变化规律及计算方法研究](#)[期刊论文]-[土木工程学报](#) 2005 (9)
10. [杨锡武](#). [张永兴](#) [山区公路高填方涵洞减载方法及试验研究](#)[期刊论文]-[土木工程学报](#) 2005 (7)
11. [周义雄](#). [梁养辉](#). [李祝龙](#). [郭力源](#) [钢波纹管涵洞在公路工程中的应用研究](#)[期刊论文]-[筑路机械与施工机械化](#)

2013(11)

12. [康兆兴](#), [戚道国](#), [张莉丽](#) [山区涵洞设计浅谈](#)[期刊论文]-[中国高新技术企业](#) 2010(13)
13. [王志鹏](#), [王磊](#), [徐龙宪](#) [浅议主动荷载法修筑高填方涵洞土压力的计算](#)[期刊论文]-[中国高新技术企业](#) 2008(13)
14. [罗炜华](#) [矩形断面沟埋式涵洞顶部垂直土压力计算公式探讨](#)[期刊论文]-[中国科技博览](#) 2010(5)
15. [李祝龙](#), [梁养辉](#), [黄志福](#), [郭力源](#) [低路堤荷载作用下钢波纹管拱桥应变的测试研究](#)[期刊论文]-[武汉理工大学学报](#) (交通科学与工程版) 2013(5)
16. [郭新春](#), [梁养辉](#), [胡滨](#), [李祝龙](#) [钢波纹管在公路涵洞工程中的应用研究](#)[期刊论文]-[公路交通技术](#) 2013(4)
17. [周世生](#), [孙文龙](#), [李文华](#), [肖倩](#) [基于涵长向的涵顶受力分析](#)[期刊论文]-[公路交通科技](#) 2010(8)
18. [杨露](#), [秦道天](#), [郭新春](#), [李祝龙](#), [梁养辉](#) [高填方路基钢波纹管涵洞力学性能及经济效益分析](#)[期刊论文]-[公路工程](#)

2013(6)

19. [张静](#), [靳楠](#) [高填方暗道土压力分布规律数值分析](#)[期刊论文]-[四川建材](#) 2013(5)
20. [李晓勇](#), [梁养辉](#), [李祝龙](#), [郭力源](#) [低路堤荷载作用下钢波纹管涵切向应变现场测试](#)[期刊论文]-[公路工程](#) 2013(3)
21. [邢文书](#) [涵洞作用影响下的分层填筑高路堤的自身沉降规律研究](#)[学位论文]硕士 2003
22. [刘静](#) [高填路堤涵洞土压力理论及减荷技术研究](#)[学位论文]博士 2004
23. [杨锡武](#) [山区公路高填方涵洞土压力计算理论研究综述](#)[期刊论文]-[重庆交通学院学报](#) 2005(4)
24. [鲁瑞林](#) [高路堤分层填筑作用下涵洞拱顶竖向土压力研究](#)[学位论文]硕士 2005

引用本文格式: [王秉勇](#) [涵洞顶填土压力的讨论及计算](#)[期刊论文]-[铁道工程学报](#) 2002(2)