

DOI:10.16799/j.cnki.esdqyfh.2023.02.048

厦门市北溪引水主干渠改造工程基坑及围护设计

许励耕

(厦门市市政建设开发有限公司, 福建 厦门 361008)

摘 要:以北溪引水主干渠改造工程为背景,基于不同工程段提出不同基坑支护方案进行比选,得到基坑分段设计方案:具备放坡开挖界面时采用放坡开挖方式进行施工;不具备开挖界面时采用板式支护体系+内支撑的方式进行施工;过河段采用钻孔灌注桩+三轴搅拌桩止水进行基坑支护,同时兼有未来保护倒虹吸功能。

关键词: 基坑;围护设计;分段;方案比选

中图分类号: TV67

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2023)02-0188-05

0 引 言

随着国民经济的发展,建筑高度不断增加,随之而来的基坑工程也逐渐加深、加大、加难。为满足构筑物地下结构的施工条件以及满足对基坑周围既有构筑物的保护,而采取的对基坑侧壁的支挡和加固措施统称为基坑支护^[1]。深基坑支护通常采用围护墙+拉锚的主动支护体系以及围护墙+内支撑的被动支护体系^[2]。

随着城市的建设和发展,大型深基坑工程越来越多,对于复杂的深大型基坑,单一的普通基坑支护方式已不能完全保证在复杂地区基坑支护的经济合理性^[3]。近年不少研究学者通过针对工程中应对不同的基坑几何尺寸和周边环境条件,分别采取多种基坑支护形式联合支护应用,并对其支护效果进行了部分的经验交流及探讨,这些具体工程中的应用均取得了较好的工程效果,也为类似工程提供了相关的参考意义^[4-5]。

本文以北溪引水主干渠改造工程基坑及围护设计为例,对深基坑支护结构及结构变形进行分析研究。

1 工程概况

本项目主要建设内容为北溪引水主干渠改造工程(马銮湾新城段),设计流量为 16 m³/s(即 138.2 万 t/d),标准断面(内净尺寸)为两孔 B×H=4.3×4.5(m)的箱涵,起于规划过芸溪湿地公园西侧,沿孚莲东

二路与环湾大道向东延伸,途径下尾、贞岱、陈井、地铁 4 号线、灌新路、浦林,终于深青溪东侧,主要布置于莲东二路与环湾大道北侧的规划绿地内,全长约 5.746 km(见图 1)。



图 1 工程总平面布置图

2 工程地质条件

拟建主干渠沿线地层主要由人工填土层、第四系全新统海积淤积层、冲洪积层和第四系残积层组成。基底为燕山晚期各风化带中粗粒花岗岩。岩性自上而下主要为:素填土、淤泥质土、粉质黏土、中粗砂、残积砂质黏性土、全风化花岗岩、砂砾状强风化花岗岩、碎块状强风化花岗岩、中风化花岗岩。土层物理力学性质如表 1 所示。

表 1 土层物理力学性质

土层名称	E/MPa	C/kPa	φ/(°)	ρ/(kN·m ⁻³)
素填土	4.16	18.8	17.6	17.7
淤泥质土	2.9	17.5	10.1	17.3
粉质黏土	5.5/12	33.8	23.5	18.4
中粗砂	13	—	—	17.8
残积砂质黏性土	5.7/15	31.1	26.0	18.6
全风化花岗岩	30	—	—	19.5
砂砾状强风化花岗岩	50	—	—	21.0
碎块状强风化花岗岩	100	—	—	23.0
中风化花岗岩	—	—	—	25.0

收稿日期: 2022-01-29

作者简介: 许励耕(1969—), 男, 学士, 高级工程师, 从事给水排水工作。

拟建场地地下水主要赋存和运移于素填土、中粗砂的孔隙及残积砂质黏性土、全风化花岗岩、砂砾状强风化花岗岩的孔隙、网状裂隙和碎块状强风化花岗岩、中风化花岗岩的裂隙中。素填土中的地下水属上层滞水,其余各层中的地下水类型总体属潜水~承压水。

3 基坑支护设计

3.1 设计参数

本工程中标准段基坑支护结构失效、土体过大变形对基坑周边环境和主体结构施工安全影响严重,属二级基坑;倒虹段基坑支护结构失效、土体过大变形对基坑周边环境和主体结构施工安全影响很严重,属一级基坑。

本工程基坑周围环境没有明确的变形控制标准,标准段环境保护等级为三级,倒虹段环境保护等级为二级。

二级基坑支护结构最大侧移控制值为:0.3%H,三级基坑支护结构最大侧移控制值为控制值为:0.7%H。基坑参数见表 2。

表 2 基坑参数

	标准段	倒虹段
设计地坪高程 /m	2.5~4.5	4.5
基坑安全等级	二级	一级
基坑环境保护等级	三级	二级
基坑深度 /m	5~7	7~11
正常使用年限 /a	1	50
最大侧移控制值 /mm	0.7%H 35~49	0.3%H 21~33

3.2 方案比选

本工程在周围环境条件允许的情况下,采用放坡开挖法作业。由于工程范围较大,部分区域没有放坡条件,结合福建省水利工程常规的类似基坑围护处理方式,对本工程围护结构提出以下方案进行比选,基坑支护方案的特点对比见表 3。

本工程部分箱涵段基坑由于距离道路较近,基坑围护的形式应在能保证安全性和经济性的同时尽可能减少土地占用。根据以上对比方案,从经济性角度考虑,放坡开挖具有明显优势,因此箱涵基坑开挖优先选择放坡开挖的形式。部分箱涵放坡开挖触及工程红线的,需要考虑支护后开挖。

拟建主干渠大部分区段位于在建孚莲东二路和环湾大道北侧。根据现场踏勘,孚莲东二路、环湾大道及两条道路下方的综合管廊正在施工。因此,基坑

表 3 基坑支护方案对比

方案	优点	缺点
放坡开挖	1.施工难度小,施工速度快; 2.工程投资小; 3.造价低,每延米造价约 1.24 万元	1. 施工过程震动较明显,不适用于沉降要求严格的构筑物区; 2.占地较多
钢板桩支护	1.二次利用率高; 2.施工方便; 3.工期短; 4.对环境影响小	1.开挖后变形较大; 2.造价较高,每延米造价约 2.03 万元; 3.施工难度较大
钻孔灌注桩	1.基坑位移控制较好; 2.不需要放坡开挖,临时占地范围小	1.质量控制难度大; 2.工程垃圾多,对环境影晌大; 3.综合造价高
复合基坑(放坡 + 钢板桩支护)	1.施工难度小,施工速度快; 2.二次利用率高	1. 施工过程震动较明显,不适用于沉降要求严格的构筑物区; 2. 开挖后变形处于放坡与钢板桩之间
SMW 工法桩	1.扰动较小; 2.施工期较短	内插型钢不易回收及回收造价高

施工时需注意对道路及综合管廊的保护。

本工程箱涵长距离施工,考虑围护结构的可行性及经济性,在具备放坡开挖条件的区域采用放坡开挖的方式进行施工;不具备开挖界面时采用板式支护体系+内支撑的方式进行施工;过河段拟采用钻孔灌注桩+搅拌桩止水进行基坑支护,兼有未来保护倒虹吸功能。

基坑及围堰平面布置见图 2。

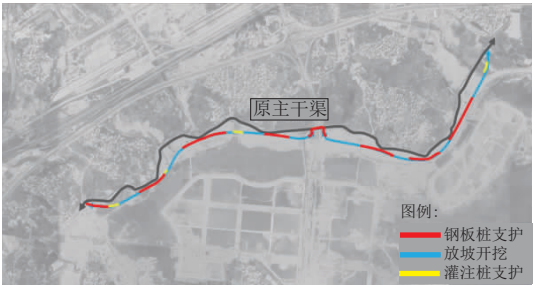


图 2 基坑及围堰平面布置图

3.3 围护设计

3.3.1 开挖边线内无建构筑物标准段

开挖边线内无建构筑物的标准段箱涵采用开挖放坡方案进行施工,基坑底宽 10 m,底标高 -2.30 m,两侧分别按 1:1.5 两级放坡,一级坡的水平长度为 5.40 m,竖向长度为 3.60 m,二级坡的坡顶至现状地坪标高。两级坡间设置 3m 宽马道。放坡坡面采用挂 $\phi 8@20 \times 20$ 钢筋网喷 8 cm 厚 C20 混凝土进行边坡支护。在坡顶和坡底各设一条 30 $\times$ 30 排水沟,坡后设置搅拌桩桩隔水帷幕以防止坑外渗水进入坑内。坡底设置间距 30 m 的降水管井,水位降至基底 1 m

以下。

3.3.2 周围有构筑物标准段

当周围有构筑物没有开挖条件时,采用 SP- 四型单排拉森钢板桩 + 两道内支撑的围护方案。标准段引水箱涵设计坑底高程为 -2.910~-3.156 m,基坑深度 6.410~7.156 m。钢板桩为拉森 IV 型钢板桩,桩长 15 m;两道内撑均为 $\phi 500 \times 14$ 钢管桩支撑,支撑长度 11.6 m,两侧通过钢围檩与钢板桩相连。围檩型号为双排 $500 \times 300 \times 11 \times 18$ 工字梁。箱涵底端两侧现浇 800 mm 厚 C35 传力带。

3.3.3 倒虹段

倒虹段引水箱涵设计基坑的底标高为 -5.40~-5.60 m,基坑深度 8.90~9.90 m。拟采用 $\phi 800$ 钻孔灌注桩 + 两道内支撑的围护结构。该方案采用钻孔灌注桩作为基坑支挡,桩长 23 m,以单排桩型式布置,桩间设 $\phi 800$ 钻孔灌注桩,间距 1 000 mm。灌注桩后单排 $\phi 850 @ 600$ mm 水泥土搅拌桩止水,桩长 15 m,使排桩具备挡水功能。工程完工后临时支护不拆除,作为保护倒虹结构的安全结构。上层内撑采用 800×800 的 C30 钢筋混凝土撑,通过 C30 钢筋混凝土顶圈梁与灌注桩连接。下层内撑采用 $\phi 609 \times 16$ 钢管撑,通过 $900 \times 1 100$ 的 C30 钢筋混凝土围檩与灌注桩相连。

3.4 围护结构计算

3.4.1 放坡开挖整体稳定复核

本工程按照《堤防工程设计规范》(GB 50286—2013)的相关规定,根据地质勘察报告提供的土质物理力学指标对各施工断面在正常运用条件、施工期条件以及地震期条件下的抗滑稳定进行计算,计算采用瑞典圆弧法,计算时,对凝聚力和内摩擦角,采用快剪指标。

计算方法如下:堤坡稳定计算按瑞典圆弧滑动法计算,抗滑稳定安全系数,施工期、水位降落期采用总应力法,稳定渗流期采用有效应力法进行。

施工期抗滑稳定安全系数可按式计算

$$k = \frac{\sum (C_u b \sec \beta + W \cos \beta \tan \varphi_u)}{\sum W \sin \beta}$$

水位降落期抗滑稳定安全系数可按式计算

$$k = \frac{\sum [C_{cu} b \sec \beta + (S \cos \beta - u_i b \sec \beta) \tan \varphi_{cu}]}{\sum W \sin \beta}$$

稳定渗流期抗滑稳定安全系数按下式计算

$$k = \frac{\sum [C' b \sec \beta + (W_1 + W_2) \cos \beta - (u - Z \gamma_w) b \sec \beta] \tan \varphi'}{\sum (W_1 + W_2) \sin \beta}$$

式中: b 为条块宽度, m; W 为条块重力, kN, $W = W_1 +$

$W_2 + \gamma_w Z b$, W_1 为在堤坡外水位以上的条块重力, kN; W_2 为在堤坡外水位以下的条块重力, kN; Z 为堤坡外水位高出条块底面中点的距离, m; u 为稳定渗流期堤身或堤基中孔隙压力, kPa; u_i 为水位降落期堤身的孔隙水压力, kPa; β 为条块重力线与通过此条块底面中点的半径之间的夹角, °; γ_w 为水的重度, kN/m³; C_u 、 φ_u 、 C_{cu} 、 φ_{cu} 、 C' 、 φ' 为土的抗剪强度指标, kN/m³。

考虑有渗透水压力作用,采用简化的有效应力计算。计算滑动力时,浸润线以下、静水位以上的土体采用饱和容重;计算抗滑力时,浸润线以下、静水位以上的土体采用浮容重;浸润线以上的土体采用湿容重,静水位以下的土体采用浮容重。

根据《堤防工程设计规范》(GB 50286—2013),各条件下的边坡抗滑稳定安全系数允许值见表 4。计算工况参数见表 5。

表 4 边坡抗滑稳定安全系数允许值

工程级别	IV
施工工况	1.05
地震工况	1.00

表 5 边坡稳定计算工况表

计算工况	墙前水深 / m	地下水位 / m	均布荷载 /(kN·m ⁻¹)
施工工况	-3.187	地面下 0.5	20
地震工况	-3.187	地面下 0.5	20

考虑到本工程新建箱涵长度较长,对沿线每个钻孔不同土层进行边坡整体稳定计算,计算结果如图 3,可见各断面在施工工况和地震工况下的计算值都大于标准值,满足要求。

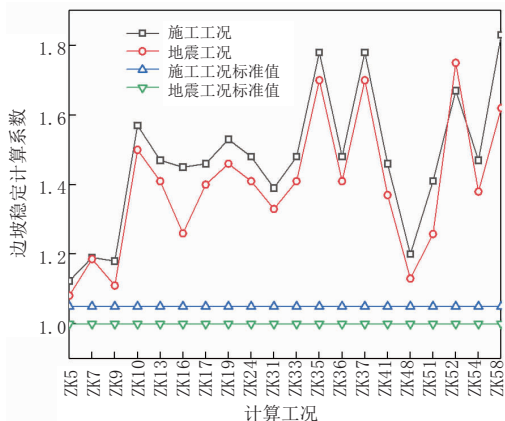


图 3 放坡开挖边坡整体稳定计算图

3.4.2 钢板桩基坑围护结构计算

选取各典型断面进行计算。计算断面见表 6。

通过表 7 计算结果表明围护结构的最大侧移值均在控制范围内,满足《基坑工程技术规范》(GB 50286—2013)的要求。

表 6 基坑典型计算断面表

序号	断面位置	地面 高程 /m	基坑深度 H/m	支护形式
1	R0+000-R0+077	4	6.410~6.413	拉森 IV 型钢板桩 + 2 道内撑
2	R0+540-R0+890	5	7.440~7.453	拉森 IV 型钢板桩 + 2 道内撑
3	R1+370-R1+760	5	7.482~7.495	拉森 IV 型钢板桩 + 2 道内撑
4	R2+310-R2+585	5	7.533~7.549	拉森 IV 型钢板桩 + 2 道内撑
5	R2+840-R3+070	5	7.566~7.578	拉森 IV 型钢板桩 + 2 道内撑
6	R3+460-R3+845	5	7.566~7.578	拉森 IV 型钢板桩 + 2 道内撑
7	R4+010-R4+370	5	7.613~7.626	拉森 IV 型钢板桩 + 2 道内撑
8	R4+660-R5+175	4	7.137~7.156	拉森 IV 型钢板桩 + 2 道内撑

表 7 基坑围护变形汇总表

序号	断面位置	最大 位移 /mm	基坑 深度 H/m	最大位移 控制值 /mm
1	R0+000-R0+077	28.50	6.410~6.413	44.87
2	R0+540-R0+890	30.50	7.440~7.453	52.13
3	R1+370-R1+760	29.10	7.482~7.495	52.37
4	R2+310-R2+585	37.30	7.533~7.549	52.73
5	R2+840-R3+070	37.90	7.566~7.578	52.96
6	R3+460-R3+845	30.10	7.582~7.593	53.07
7	R4+010-R4+370	31.00	7.613~7.626	53.29
8	R4+660-R5+175	24.00	7.137~7.156	49.96

通过图 4 和图 5 计算得到基坑整体稳定性、抗倾覆性、抗隆起及抗管涌都能满足规范规定的要求。

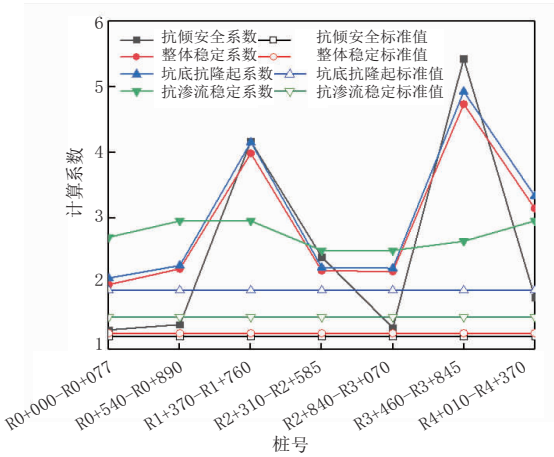


图 4 基坑计算系数对比图

3.4.3 灌注桩基坑围护结构计算

选取各典型断面进行计算,计算断面见表 8。

通过表 9 的计算结果表明围护结构的最大侧移值均在控制范围内,满足《基坑工程技术规范》(GB 50286—2013)的要求。

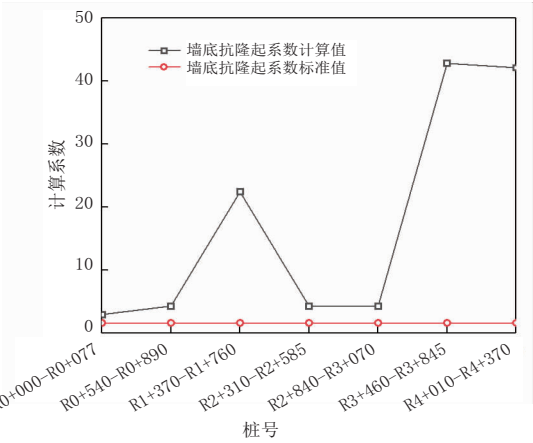


图 5 基坑墙底抗隆起系数对比图

表 8 基坑典型计算断面表

序号	断面位置	地面 高程 /m	基坑深度 H/m	支护形式
1	过芸溪倒虹吸 R0+100-R0+230	3.5	8.90	钻孔灌注桩 + 2 道内撑
2	后浦溪倒虹吸 R0+953-R1+040	4.5	9.90	钻孔灌注桩 + 2 道内撑
3	贞岱渠倒虹吸 R1+882-R1+971	4.5	9.90	钻孔灌注桩 + 2 道内撑
4	深青溪倒虹吸 R5+408-R5+560	4.5	9.90	钻孔灌注桩 + 2 道内撑

表 9 基坑围护变形汇总表

序号	断面位置	最大 位移 /mm	基坑深度 H/m	最大位移 控制值 /mm
1	过芸溪倒虹吸 R0+100-R0+230	16.80	8.90	26.70
2	后浦溪倒虹吸 R0+953-R1+040	22.60	9.90	29.70
3	贞岱渠倒虹吸 R1+882-R1+971	13.10	9.90	29.70
4	深青溪倒虹吸 R5+408-R5+560	27.20	9.90	29.70

通过图 6 和图 7 计算得到基坑整体稳定性、抗倾覆性、抗隆起及抗管涌都能满足规范规定的要求。

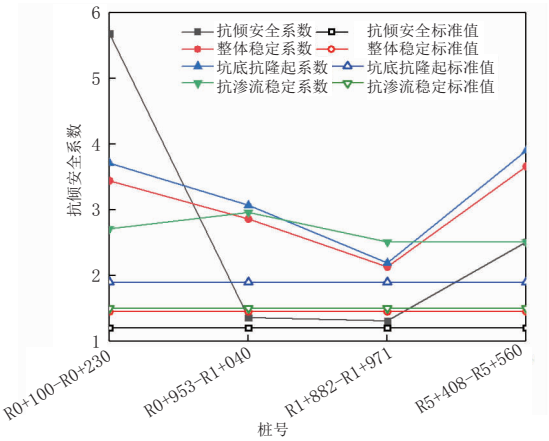


图 6 基坑计算系数对比图

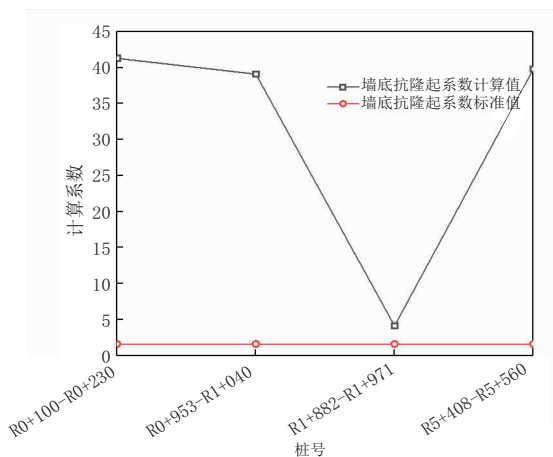


图7 基坑墙底抗隆起系数对比图

3.5 基坑围护降水减压设计

根据拟建场地地质特征,在基坑顶和 ± 1.0 m平台设置轻型井点进行超前降水。以提高土体抗剪强度,并改善施工条件。降水标高控制在坑底面以下约0.5~1.0 m(严禁过量降水),超前降水时间不宜小于20 d,降深尽可能地均匀。

抽水系统安置完毕后,应进行试抽,达到要求后方可转入正常抽水,除遇特殊情况外,一般应连续工作。抽水期间,应做好各种记录,并与监测单位密切配合,遇有情况应立即请示业主及有关单位,及时协商并解决。基坑开挖期间应每天测报抽水量及坑内地下水位。

降水期需加强地面沉降及坑外地下水位监测,并记录相应的抽水量。同时设回灌井,当坑外水位降低较多时,宜采取回灌措施。降水井示意图见图8。

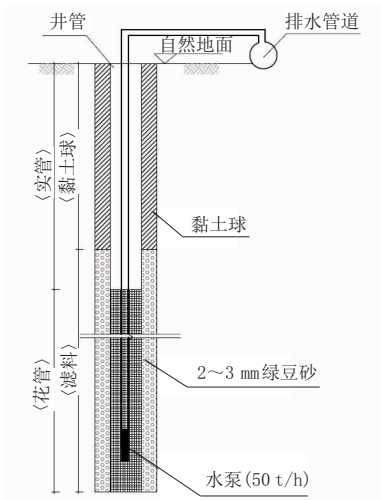


图8 降水井示意图

3.6 基坑围护降水减压设计

3.6.1 监测点布置基本要求

(1)基坑每一开挖段(约15 m)应设有一组变形监测点,监测墙顶水平位移和墙顶沉降。

(2)当围护体系出现肉眼可见裂缝时,宜及时布

置监测点,宜在裂缝中部和两端各布置裂缝宽度监测点。

(3)围护墙侧向变形监测点宜布置在围护墙中间部位,布置间距宜为20~50 m,每侧边监测点至少1个,监测点布置深度宜与围护桩入土深度相同。

(4)基坑外地下水位监测点宜布置在邻近旋喷桩施工搭接处、转角处、相邻建(构)筑物处、地下管线相对密集处等,并宜布置在止水帷幕外侧约2 m处;

(5)基坑内地下水位监测点宜布置在相邻降水井近中间部位,其中潜水水位观测管埋置深度不宜小于基坑开挖深度以下3 m;

(6)基坑周围地表沉降,每一开挖段应设一测量断面,每一测量断面在垂直基坑方向两倍坑深范围内宜布设4~6个沉降测点,每个开挖段土坡的坡顶上应设2个位移监测点。

(7)邻近建筑物的水平和竖向位移监测点应布置在基础类型、埋深和荷载有明显不同处及沉降缝、伸缩缝以及新老建筑连接处的两侧,且建筑物角点和中点应布置测点,沿周边布置间距宜6~20 m,且每边不应少于3个;

(8)管线监测点间距宜为15~25 m,设置的垂直和水平位移监测点宜为共用点。

3.6.2 监测频率及报警值

在每个测试项目受基坑开挖施工影响之前,必须测得各项目的初始值。主槽开挖期,每2 d监测1次,遇台风、暴雨等异常情况应每天监测不少于1次;监测数据超过预警值而小于允许值时,每天监测不少于1次。水工结构及景观绿化施工期,每月一次频率监测直至工程竣工,遇台风、暴雨等异常情况应每周监测不少于2次。竣工后每三个月一次频率,直至不发生位移沉降变形保持1 a以上。

二级基坑支护结构最大侧移控制值为:0.3% H ,三级基坑支护结构最大侧移控制值为控制值为:0.7% H 。

4 结 论

本文以北溪引水主干渠改造工程为实例,通过不同支护方案比选并结合基坑周围具体情况,对基坑支护结构进行分段设计。在具备放坡开挖条件区域采用放坡开挖的方式进行施工;不具备开挖界面时采用板式支护体系+内支撑的方式进行施工;过河段拟采用钻孔灌注桩+搅拌桩止水进行基坑支护,同时兼有未来保护倒虹吸功能。

(下转第201页)

表 2 传统平台与新一代综合管控平台功能对比表

比较层级平台版本	传统平台	新一代的综合管控平台
感知层	主要包含常规感知终端,如交通视频监控设备、交通流量采集设备、信号控制设备、信息发布设备	在常规感知设施的基础上新增位置服务设备、洞口/闸道管控设备、智能化消防联动设备等
基础资源层	单独物理服务器,单点设备居多,无冗余功能	采用云平台化的方式,可靠性强,可满足城市管理不同层级的数据共享,数据发掘,决策支撑,联动等要求
数据支撑层	数据库	采用先进的数据采集、精准的多源异构数据融合技术以及强大的数据挖掘分析等手段构建数据中台,建设基于 BIM+GIS+ 数字孪生引擎的数字孪生底座
应用系统层	主要为常规的业务系统	新增交通管控交通路网、安全管控、位置服务、资产管理、运营管理、移动巡检、能耗分析与管理等模块
展示支撑层	主要二维展示画面,未结合地图实现可视化	结合仪表盘综合展示、视频资源一张图、数字孪生引擎、道路、综合态势、交通态势监测等技术实现可视化
安全合规	防火墙	防火墙等安全设备、二级等保及相关行业规范

表 3 传统平台与新一代综合管控平台性能对比表

平台版本指标	可拓展性	安全性	可靠性	升级成本	容错能力	可用性	服务的稳定性
新一代的综合管控平台	可监测带宽、连接数、磁盘使用率等指标,了解云服务现状,在业务量变大后及时收到报警通知进行服务扩容	云平台需通过国际国内安全标准认证,这些安全合规,能保护用户数据的私密性、用户信息的私密性以及用户隐私	通常采用双机主从架构,高可用 HA 模块侦测到主节点故障时,会自动进行主从切换,可靠性高	云平台支持自动升级,不影响业务使用,成本较低	云平台具备自动化容错算法 RAM 技术,容错性高	云服务器使用更严格的 IDC 标准、服务器准入标准以及运维标准	系统性能稳定,资源利用率高,可确保服务相对稳定
传统平台	相对较差	常规平台一般仅通过部署防火墙实现部分信息安全	平台出故障后系统无法正常运转	扩容升级成本相对较高,工程实施复杂	相对云平台容错能力较低	物理机房建设标准相对较低	受资源利用影响,应急情况下的系统服务稳定性待验证

地下道路运行效率和事件处置能力,维护城市基础设施有序运行。基于统一的智慧地下道路综合管控平台,实现运行管理与预警预测全面监管,是推动城市地下道路管理手段、管理模式、管理理念创新的重要举措。

参考文献:

[1] 蔡文海.智慧交通实践[M].北京:人民邮电出版社,2018.
[2] 陈署鑫.高速公路隧道机电工程设计的重点及应注意的问题[J].交通世界,2019.

[3] 郑军.高速公路隧道机电系统现状及问题[J].黑龙江交通科技,2017.
[4] 金鑫,韩风,邹阳.基于“云边端”的业务信息系统构建技术研究[J].信息化研究,2021(6).
[5] 曾磊,王少飞,何旭春,等.智慧型隧道的概念、架构及其关键技术[J].现代隧道技术,2016,53(4):1-8.
[6] 唐维,申丽萍.高速公路隧道智能管控平台探究[J].中国交通信息化.2018(S1).
[7] 王伟华.高速公路隧道智慧一体化管控系统研究[J].机电信息.2021(18).
[8] GB/T 22239—2019,信息安全技术网络安全等级保护基本要求[S].

(上接第 192 页)

参考文献:

[1] 李钟.深基坑支护技术现状及发展趋势(一)[J].岩土工程界,2001(1): 42-45.
[2] 陈建国,胡文发.深基坑支护技术的现状及其应用前景[J].城市道桥与防洪,2011(1): 91-94.

[3] 张世雄. 劲性水泥土桩嵌合钻孔桩软基支护系统的稳定性研究[D]. 武汉理工大学,2011.
[4]蒋洪胜,曹怀武,张建国.多种支护结构形式在深基坑工程中的应用[J].施工技术,2003(8): 12-13,17.
[5] 曾光华.分段多种支护形式在深基坑工程中的应用[J].工程建设,2008,40(6): 43-45,48.