

某矿山的边坡治理

董凤强 刘文连¹ 魏力²

(昆明理工大学建筑工程学院,昆明 650224;中国有色金属工业昆明勘察设计研究院¹,昆明 650051;

昆明理工大学国土资源工程学院²,昆明 650093;)

摘要 由于矿山的特殊性,在矿山建设中,经常遇到边坡问题。结合边坡场地的特点,对边坡治理方案进行了比选,浅谈了对边坡的治理设计,探讨了设计特点。对抗滑桩和预应力锚索施工要点进行了分析。根据监测结果表明,此边坡治理效果良好。

关键词 场地特点 治理方案 设计特点

中图法分类号 U416.14; **文献标志码** A

近年来,随着经济建设的发展和矿山建设规模的扩大,边坡工程在矿山建设中普遍存在。并且大部分边坡为永久边坡,如果治理不好,对以后的安全生产和经济效益将构成很大的威胁。因此采取合理的治理方案,因地制宜,才能收到良好的治理效果。

1 工程概况

云南锡业股份有限公司老厂分公司拟对羊坝底硫化矿选矿进行技术改造,新建一个重选车间。拟建重选车间西侧紧临厂区主干道,位于羊坝底硫化矿选矿厂主厂房北侧面山体斜坡上,厂房轴线距老厂房8 m,同时在重选车间北侧坡体上修建一条进入车间的道路。边坡走向南北,倾向东,坡度 $22^{\circ} \sim 28^{\circ}$,地面标高1 761.00~1 822.00 m,高差61 m。边坡岩土体自上而下为人工填土、黏土、强风化和中风化灰岩。人工填土结构松散~稍密,湿,层厚5.50~16.0 m;黏土为褐红色,软塑状态,局部呈可塑状态,稍湿,无摇振反应,切面光滑,干强度及韧性高,层厚0.90~22.50 m;强风化石灰岩为灰色、褐灰色,节理裂隙发育,强风化,岩体破碎,可见溶蚀孔隙,岩芯呈碎块状及块状,层厚1.00~

2.80 m;中风化石灰岩,灰色,细晶结构,块状构造,节理裂隙发育,中等风化,岩芯呈碎块状,块状及短柱状,可见溶蚀孔隙及发育溶洞,岩溶较发育,层厚1.80~9.50 m。

2 场地特点

本矿山选厂拟建工程的场地具有其特殊性。

(1)人工填土较厚。场地原始地貌为一冲沟,在建设老厂房时,由于土方就近堆填,所以坡体是由回填弃土而成,填土未经压实,松散~稍密。填土的深度局部较深,并且填土厚度具有很大的差异性。

(2)冲沟。拟建重选车间场地原始地貌为一大冲沟,在拟建重选车间的北部还发育一条断面呈U字型的冲沟,沟宽5~7 m,沟深2~5 m,沟壁为滑坡堆积黏土或坡积黏土,被利用为尾矿冲沟,由于受尾矿水及降水冲刷沟壁局部有小的坍塌现象。

(3)岩溶。场地下伏基岩为石灰岩,岩层埋深差异性较大,受地表水下渗影响,岩溶及裂隙发育。

(4)地下水。由于勘察时为枯水季节,钻孔布孔间距限制,钻孔未见地下水。但是拟建重选车间南侧紧邻的公路下有选厂的自来水管道的接口由于年久失修,向坡体漏水,水沿原始场地冲沟和回填土面向坡脚下渗。

(5)滑坡影响。拟建重选车间紧邻老厂房,而老厂房下部为一老滑坡,老厂房一部分厂房由于滑坡已经倒塌,滑坡经过治理后,现已基本稳定。由于在老滑坡坡脚修建厂区道路,对坡脚减载,下雨后雨水的下渗,老滑坡有局部复活现象。

(6)阶梯边坡。拟建重选车间由于选矿工艺的需要,要在边坡体上开挖9级阶梯边坡建厂房,边坡的高差自上而下分别为7 m、3 m、4 m、1 m、3 m、6 m、1 m、3 m、2~7 m。在拟建厂房场地下边缘已经出现两条宽1 cm,长约15 m的裂缝,边坡处于极限平衡状态。

边坡处于极限平衡状态,拟建厂房位于边坡的坡顶,属于在坡顶加载。一旦边坡人工削坡整平后没加固时,边坡安全系数小于规范规定的一级边坡安全系数1.30,即无支护状态下是不安全的,必须进行加固处理。

3 治理方案选择

由于边坡当人工开挖后,并且加上厂房荷载和机器动荷载后,边坡不稳定,应进行支护。拟采取三个方案,

方案一:对边坡下部采用反压治理,即在拟建场地边坡下方约150 m处建一挡土坝,用选矿厂生产过程中产生的废石料筑坝,坝前用废石料回填,对边坡坡脚反压高度约15 m,对厂房临公路侧采用抗滑桩支护,厂房内阶梯边坡采用挡土墙支护。

方案二:对边坡进行支护治理,采取二级支挡,分别用抗滑桩和预应力锚索抗滑桩进行支挡,对厂房临公路侧采用抗滑桩支护。

方案三:对边坡进行支护治理,采取预应力锚索抗滑桩进行支挡,对厂房临公路侧采用抗滑桩支护。

(1)技术方面:三个方案在治理边坡后,安全系数都达到1.3,满足规范规定要求,在技术上都满足要求^[1]。

(2)工程成本:方案一所用土石方量约10万立方米,废石料分层碾压和运输所产生的成本每方约

30元,加上挡土墙和临公路侧抗滑桩工程总造价约600万元。方案二套定额预算约为800万元。方案三由于采用一级支挡,抗滑桩的尺寸很大,锚索的数量也很多,厂房内阶梯边坡也要支护,套定额预算约为850万元,可见方案一成本比较低。

(3)选矿工艺要求:方案一不满足选矿工艺要求,应为在重选车间的下方,还要拟建两个浓缩池,池底标高较重选车间最下一级阶梯边坡低14 m。方案二的支挡形式满足工艺要求。方案三的支挡形式也满足工艺要求。

经过比较,在满足边坡稳定的前提下方案一成本较低,但是不满足选矿工艺的要求,为了节约成本,所以本边坡选取方案二进行边坡治理。

4 工程治理方案设计

4.1 抗滑桩和预应力锚索抗滑桩的加固计算原理

抗滑桩是通过桩身将上部承受的坡体推力传给桩下部的侧向土体或岩体,依靠桩下部的侧向阻力来承担边坡的下推力,而使边坡保持平衡或稳定,即依靠自身的抗弯和抗剪强度抵抗滑坡推力^[2],施工后在滑坡推力的继续作用下发生位移,桩才能逐渐具备抗滑能力。

预应力锚索抗滑桩是利用锚索上的预加应力^[3],是一种主动支护结构,锚索和桩共同工作,改变桩的悬臂受力状况和桩完全靠侧向地基反力抵抗滑坡推力的机理,使桩身的应力状态和桩顶变位大大改善。锚索施加预应力后,滑体受到反推力,这样就可以立即起到止滑的作用,但锚索的锚固端需要有较好的地层或岩层,对锚索而言,更需要有较好的岩层以提供可靠的锚固力。

对于嵌岩桩,可认为桩底不会发生位移和转动,桩底约束条件可视为固定约束,滑动面以上的部分可简化为悬臂端,桩的计算模型可以简化成一端固定一端悬挑的梁。当桩顶加上预应力锚索后,相当于在悬臂端加上一个铰支座,可看成超静定结构用力法或位移法来计算抗滑桩和锚索的内力。

4.2 支护设计要点

(1)考虑了土拱效应,此处的土拱传力分析指

土拱承受滑坡推力后将其传递到两侧抗滑桩及拱前岩土体上的过程,土拱传力简图见图 1。

第一,桩前不存在稳定土体时,当间距满足一下条件是才有可能形成土拱效应^[4]

$$L \leq \frac{2b}{\tan(45^\circ - \frac{\varphi}{2})} + \frac{4bc}{R} \quad (1)$$

第二,桩前存在稳定土体时,当间距满足一下条件是才有可能形成土拱效应

$$L \leq \frac{2b}{\tan(45^\circ - \frac{\varphi}{2})} + \frac{4bc}{R - R_k} \quad (2)$$

式(2)中: R 为上一级土拱的剩余下滑力, b 为抗滑桩的宽度, L 为最大桩间距, C 为岩土体的黏聚力, $R - R_k$ 即从最后一级土拱中扣除传递给稳定岩土体的力。 φ 为岩土体的内摩擦角。

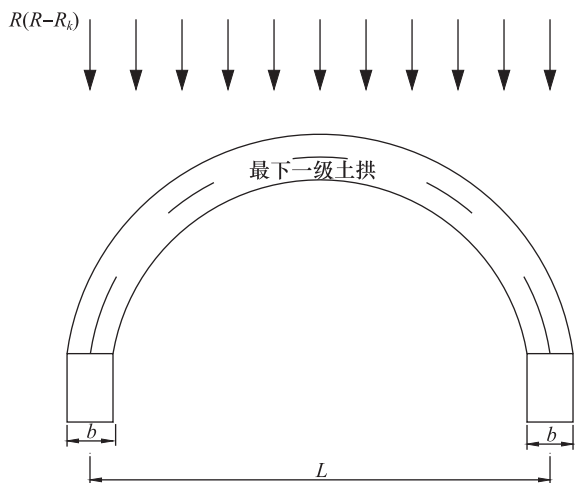


图 1 土拱传力简图

本设计的抗滑桩间距为 5 m 和 6 m,都满足式(1)和式(2),所以桩间土形成了土拱效应。桩间挡土板放置在桩坡低一侧,由于土拱效应的存在,在同等配筋条件下,挡土板的安全储备较高。

(2)与建筑基础形式相结合,因为重选车间厂房为桩基础,厂房跨度为 6 m,临公路阶梯边坡和厂房内第一级支挡结构采用抗滑桩支护,桩间距都取 6 m,使抗滑桩与基础桩有一定不好的距离,确保桩与桩不相互影响和施工的顺利进行。这两排桩如果桩顶加预应力锚索,第一由于回填土较厚,锚索

的总长度将达到 40 m,自由端达到 30 m 左右,第二由于在厂房内,可能与建筑基础和机器基础交叉,且不容易施工。抗滑桩的外边缘距厂房基础轴线为 1 m,即使桩顶产生少量位移,对厂房结构稳定和位移要求的影响很小,可以忽略不计。厂房最下面的阶梯边坡上厂房安装有吊车梁,对位移要求严格,所以厂房第二级支挡结构采用预应力锚索和桩板结构支护,锚索的长度约 30 m,预应力锚索抗滑桩结构可以有效控制桩顶位移,确保整个阶梯边坡的变形在允许的范围之内。

(3)抗滑桩纵向受力筋的截断。在建筑结构设计,常根据梁的弯矩包络图进行配筋,在梁的端部弯矩较小、剪力较大的部位,纵向受力钢筋经常截断或者弯起。当边坡下滑推力和桩长已知时,根据抗滑桩和预应力锚索抗滑桩的简化计算模型,求出桩身的内力,画出桩的弯矩和剪力图,抗滑桩截面可以简化成单筋矩形截面的梁,按式(3)和(4)计算纵向受力钢筋的截面面积。

$$\sum X = 0; \quad \alpha_1 f_c b x = f_y A_s \quad (3)$$

$$\sum M_s = 0; \quad M \leq f_y A_s (h_0 - \frac{x}{2}) \quad (4)$$

式中: b 为抗滑桩的宽度, A_s 为桩坡高侧纵向受力钢筋的截面面积, M 为下滑力在该截面产生的弯矩, X 为截面等效受压区高度。 h_0 为截面的有效高度。 α_1 取 1.0, f_c 为桩体混凝土轴心抗压强度设计值。

通过弯矩图进行配筋,在确保结构安全的前提下,节约成本。本设计经过计算,抗滑桩在桩顶和桩底 2~3 m 处,弯矩较小,纵向受力钢筋部分进行截断。预应力锚索抗滑桩在桩顶处出现负弯矩,要双面配筋,桩底 2~3 m 处,弯矩较小,纵向受力钢筋部分进行截断。在潜在滑动面处,弯矩和剪力较大,纵筋和箍筋确保满足结构安全。

(4)治理设计和周围环境相结合。在边坡治理时,充分考虑的治理场地周围的环境,确保了边坡治理安全、合理。

4.3 整体下滑力计算

边坡稳定性计算方法有圆弧滑动法、平面滑动

法、折线滑动法、赤平极限投影法、实体比例投影法。由于本边坡回填土较厚,为土质边坡,所以采用圆弧滑动法进行边坡稳定性分析。

以地勘报告 3-3 剖面为计算对象,计算参数参考实验并经过反算后选取见表 1,设备动荷载折算为静荷载按 50 kPa,计算时假定临公路的阶梯边坡为稳定的,计算简图见图 2。

表 1 岩土物理力学参数表

岩土名称	重度 $\gamma/(\text{kN} \cdot \text{m}^{-3})$	黏聚力 C/kPa	内摩擦角 $\varphi/^\circ$	砂浆与土黏结强度 特征值 f_{ak}/kPa
人工填土①	19.0	16	6	/
黏土②	18.5	40	10	/
石灰岩③	22.0	70	25	0.25
石灰岩④	23.0	120	35	0.40

圆弧滑动法^[5]边坡稳定性按下式计算:

$$K_s = \frac{\sum R_i}{\sum T_i} \tag{5}$$

$$N_i = (G_i + G_{bi}) \cos \theta_i + P_{wi} \sin (\alpha_i - \theta_i) \tag{6}$$

$$T_i = (G_i + G_{bi}) \sin \theta_i + P_{wi} \cos (\alpha_i - \theta_i) \tag{7}$$

$$R_i = N_i \tan \varphi_i + c_i l_i \tag{8}$$

式中 K_s —边坡稳定性系数; c_i —第 i 计算条块滑动面上岩土体的黏结强度标准值(kPa); φ_i —第 i 计算条块滑动面上岩土体的内摩擦角标准值($^\circ$); l_i —第 i 计算条块滑动面长度(m); θ_i, α_i —第 i 计算条块底面倾角和地下水水面倾角($^\circ$); G_i —第 i 计算条块单位宽度岩土体自重(kN/m); G_{bi} —第 i 计算条块滑体地表建筑物的单位宽度自重(kN/m); P_{wi} —第 i 计算条块单位宽度的动水压力(kN/m); N_i —第 i 计算条块滑体在滑动面法线上的反力(kN/m); T_i —第 i 计算条块滑体在滑动面切线上的反力(kN/m); R_i —第 i 计算条块滑动面上的抗滑力(kN/m)。

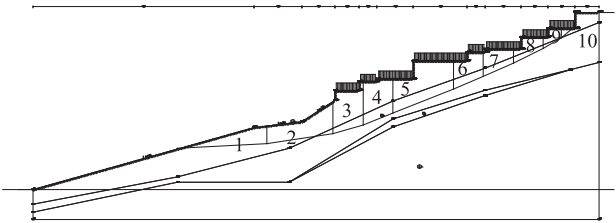


图 2 计算简图

由边坡稳定性计算可知,边坡由于回填土较厚,在最下一阶梯边坡的下滑力达到 1 914 kN/m (见表 2 土条的剩余下滑力),如果采取抗滑桩一级支挡,桩的尺寸很大,并且不经济,所以采取二级支挡。

表 2 土条的剩余下滑力

土条编号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
剩余下滑力 $/(\text{kN} \cdot \text{m})$	1 570	1 842	1 914	1 828	1 405	712	472	303	186	131

4.4 支护设计(见图 3)

临公路阶梯边坡上面为矿山主干道,矿区运矿卡车经常出入,卡车载重量达到 70 t,道路荷载按 80 kPa 考虑,计算其剩余下滑力为 400 kN/m,本段长度 54.00 m,边坡高度为 6~8.0 m,该段岩土层主要为素填土和黏土,采用桩板结构支护,抗滑桩尺寸为 1.2 m×1.8 m,桩间距为 6 m,桩长 12~18 m,部分桩进入基岩 2~5.0 m,桩间板与桩整体浇注,桩间板厚 0.30 m。

厂房内第一级支挡结构采用抗滑桩,本段剩余下滑力为 750 kN/m,长度 54.00 m,边坡总高度为 17 m,该段岩土层主要为素填土、黏土、中等风化灰岩,抗滑桩尺寸为 1.8 m×2.5 m,桩间距为 6 m,桩长 22~30 m,部分桩进入基岩 5~9 m 左右,桩间板与桩整体浇注,桩间板厚 0.30 m

厂房内第二级支挡结构采用预应力锚索和桩板结构支护,长度约 54 m,本段剩余下滑力为 1 000 kN/m,边坡总高度为 14~17 m,该段岩土层主要为素填土、黏土、中等风化灰岩,桩顶设两排锚索,第一排距桩顶 2 m,竖向间距 2 m,锚索张力为 1000 kN,锚固力为 800 kN,施工时要确保锚固段进入基岩 10 m,抗滑桩尺寸为 2.0 m×2.5 m,桩间距为 5 m,桩长 22 和 26 m,桩进入基岩 6~8 m,桩间板与桩整体浇注,桩间板厚 0.30 m。

4.5 排水设计

为防止雨水及地面水渗入坡体,坡顶截水沟待整个边坡支护完成后,再结合实际情况具体实施,同时结合道路规划排水系统,每个桩间挡土板设置两列直径 100 mm 的泄水孔,厂房内做好废水

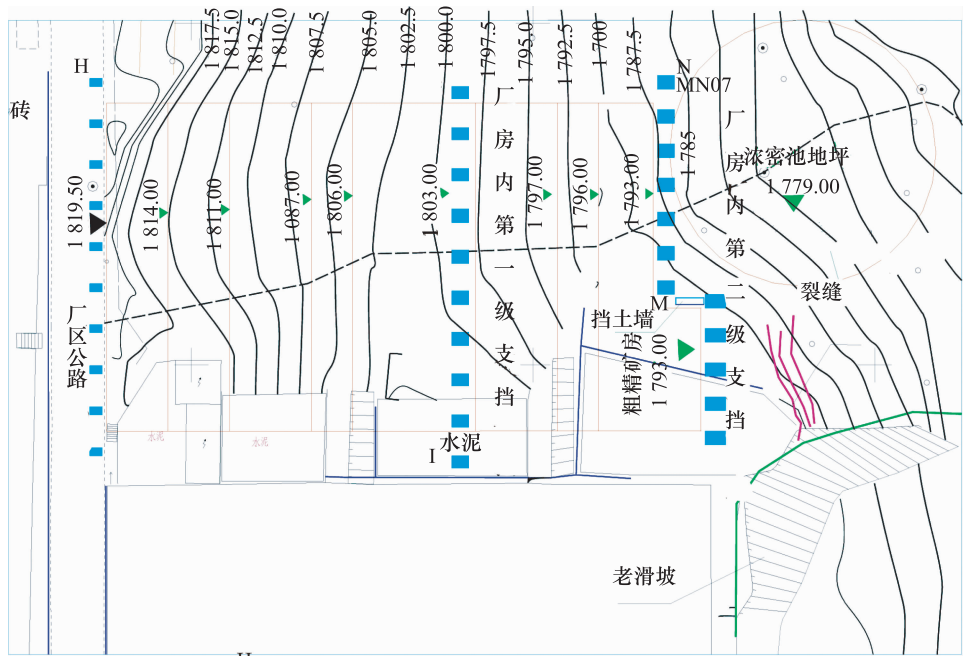


图3 支护方案平面图

的排放,避免下渗入坡体。在做边坡治理前,建议甲方先做排洪沟,引导尾矿水进入尾矿库,避免渗入边坡体。做好坡脚的防、排水,防止坡脚被水浸泡软化,从而影响边坡稳定,威胁厂房及人身安全。

5 工程施工

5.1 成孔

采用人工挖孔的方法,首先用经纬仪将桩位逐一放于场地,采用十字控制法把桩加护壁的尺寸放出。由于回填土比较厚,边坡处于极限平很状态,采用跳桩开挖。遇到石灰岩时进行爆破,但是严格控制装药量,可采用2次爆破或毫秒爆破^[6]。先起爆中心,再爆四周,以减少爆破对上部护壁和围岩的稳定性。爆破后先通风排烟,经检查无毒后,施工人员下井继续作业。

5.2 钢筋笼安装

箍筋和纵向受力钢筋只做好后,放入井下,钢筋笼的绑扎直接在井下进行,在有锚索的地方预留146 mm的钢管,焊接在钢筋笼上。

5.3 桩混凝土浇注

混凝土在现场用搅拌机搅拌后,采用溜槽的办法进行浇注,整桩混凝土须一次浇注完毕,否则视为断桩。要对混凝土的配合比,流动性,振捣质量进行控制。

5.4 锚索施工

在设计位置钻机就位、成孔、下锚索,注浆常压为0.2 MPa至0.5 MPa,注浆材料采用42.5普通硅酸盐水泥浆。锚固段一定要位移潜在滑裂面一下。预应力锚索必须进行张拉试验,试验数不少于三根。

5.5 平整场地^[7]

边坡分段自上而下分台开挖,加强弃土的管理。平整场地后再进行厂房基础的施工。

5.6 变形监测

变形监测点设置,间隔一桩桩顶设置一个监测点。变形监测周期数15~20期,桩施工结束前一次,挡板施工期间每周1~3次,遇有特殊情况根据实际情况增加,全部工程结束后,每月一次,工程竣工一年后结束观测。

6 结语

经过施工期间和施工后对抗滑桩、预应力锚索抗滑桩位移监测,表明治理后边坡是稳定的,且无滑动的可能,现工业厂房主体已基本完工。通过对边坡治理的设计,我们取得以下体会:

(1)经过治理方案比较,特别是以后在矿山建设中,遇到边(滑)坡问题时,在满足生产的前提下,首选采用矿山生产过程中产生的废石料反压,比较经济实用。

(2)边坡的施工应自上而下,分台开挖,同时加强弃土的管理,以减小施工对边坡的扰动,确保施工期间边坡的稳定。

(3)由于灰岩地区岩溶较发育,在人工挖孔桩护壁施工过程中遇到溶洞,采用 C20 混凝土进行了灌浆处理,经过现场试验和完工后对桩位移的监测表明,遇溶洞进行灌浆处理是可行的。

(4)抗滑桩的桩间挡土板设置于坡底测得外边缘受力较好,因为桩与桩之间形成土拱效应,在同等配筋的条件下,桩间挡土板的安全储备更大。桩间距要合理设置,考虑土拱效应。

(5)在施工完成后,经过对比,预应力锚索抗滑桩在工业建筑边(滑)坡治理中应用效果比单一的

抗滑桩好,因为锚索主动受力,可以约束桩顶位移,能够更好的满足工业厂房对位移控制的要求,但是要确保锚索的设计与厂房基础不冲突。

(6)在边坡治理设计中,当下滑力较大时,可以考虑分级支挡,否则不经济。在建筑边坡治理时,治理方案的选取要与建筑物基础的形式相结合。

(7)在灰岩地区或回填土比较厚、以及地质条件复杂地段,应重视施工勘察工作,做到信息化设计,确保边坡治理工程安全可靠,成本节约。

参 考 文 献

- 1 郑守全,陈立伟,毛 磊. 煤矸石发电厂技改工程高边坡治理优化设计. 四川建筑,2005;25(6):58—59
- 2 杨博铭,赵明华,刘小平. 预应力锚索抗滑桩治理公路高陡边坡的应用. 中南公路工程,2005;30(4):17—21
- 3 刘喜云. 浅谈抗滑桩及预应力锚索在边坡治理中的综合应用. 中国地质灾害与防治学报,2002;13(2):53—55
- 4 洪 滨. 预应力锚索抗滑桩优化设计研究. [硕士学位论文]. 重庆:重庆交通大学,2007
- 5 GB 50330—2002. 建筑边坡工程技术规范. 北京:中国建筑工业出版社,2002
- 6 赵明阶,何光春,王多垠. 边坡工程处置技术. 北京:人民交通出版社,2003
- 7 王亮清,刘佑荣,余宏明. 关兴公路路堑边坡治理设计. 铁道建筑,2004;(2):47—48

The Slope Remediation of a Mine

DONG Feng-qiang, LIU Wen-lian¹, WEI Li²

(School of Architecture & Civil Engineering, Kunming Institute of Science and Technology, Kunming 650224, P. R. China;

Kunming Survey Design & Research Institute of China Nonferrous Metal Industry, Kunming¹ 650051, P. R. China;

School of Architecture & Civil Engineering, Kunming Institute of Science and Technology², Kunming 650224, P. R. China)

[Abstract] In mine construction, because of the particularity of mine, problems of slope is frequently encountered. Based on field features of the slope, the governance programs of slope were compared and choosed, design features and design of the slope Governance were discussed. The construction points of anti-sliding piles and prestressed anchor cable were analyzed. Based on the monitoring results, which shows that the slope of governance good effect.

[Key words] field features governance program design features