

团 体 标 准

T/CHES 129—2024

山区小流域沟道治理人工阶梯-深潭 系统技术导则

Technical guidelines for artificial step-pool system in gully control
of small mountainous watersheds

2024-06-27 发布

2024-07-27 实施

中国水利学会

关于批准发布《水利水电工程升鱼机设计导则》 等 8 项团体标准的公告

水学[2024]86 号

经理事长专题办公会议批准,决定发布《水利水电工程升鱼机设计导则》等 8 项团体标准,现予以公告。

标准自 2024 年 7 月 27 日起实施。

序号	标准名称	标准编号	批准日期	实施日期
1	水利水电工程升鱼机设计导则	T/CHES 124—2024	2024.6.27	2024.7.27
2	水利水电工程过鱼设施效果评估导则	T/CHES 125—2024	2024.6.27	2024.7.27
3	水库工程生态调度设计指南	T/CHES 126—2024	2024.6.27	2024.7.27
4	土的分散性判别试验规程	T/CHES 127—2024	2024.6.27	2024.7.27
5	输水工程沼蛤监测技术导则	T/CHES 128—2024	2024.6.27	2024.7.27
6	山区小流域沟道治理人工阶梯-深潭系统技术导则	T/CHES 129—2024	2024.6.27	2024.7.27
7	一体化地下水水位计	T/CHES 130—2024	2024.6.27	2024.7.27
8	一体化翻斗式雨量计	T/CHES 131—2024	2024.6.27	2024.7.27

中国水利学会
2024 年 6 月 27 日

目 次

前言	III
引言	IV
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 总体要求	2
5 基础数据收集调查	2
5.1 资料收集	2
5.2 现场调查	2
5.3 内容整理	2
6 阶梯-深潭系统布局	3
6.1 一般规定	3
6.2 控制性断面	3
6.3 防护措施	3
7 阶梯-深潭系统设计	3
7.1 一般规定	3
7.2 阶梯-深潭系统逐级冲刷形态	4
7.3 阶梯-深潭系统能量调控	4
7.4 阶梯-深潭系统河段平均流速	5
7.5 计算步骤	5
8 阶梯-深潭结构设计	5
8.1 一般规定	5
8.2 稳定性计算	5
8.3 结构设计	5
9 施工	6
10 检查维护	6
附录 A (资料性) 基础数据清单表样	7
附录 B (资料性) 人工阶梯-深潭系统布局示意图	8
附录 C (资料性) 人工阶梯-深潭系统设计示意图	9
附录 D (资料性) 人工阶梯-深潭结构设计示意图	10

前 言

本文件按照 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第 1 部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

本文件共分为 10 章和 4 个附录，主要技术内容包括总体要求、基础数据收集调查、阶梯-深潭系统布局、阶梯-深潭系统设计、阶梯-深潭结构设计、施工、检查维护。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中国水利学会归口。执行过程中如有意见或建议，请寄送至中国水利学会（地址：北京市西城区白广路二条 16 号，邮编 100053），以便今后修订时参考。

本文件主编单位：清华大学。

本文件参编单位：中国科学院地理科学与资源研究所、中国科学院地质与地球物理研究所、中国科学院水利部成都山地灾害与环境研究所、北京林业大学。

本文件主要起草人：徐梦珍、王兆印、傅旭东、黄科翰、张晨笛、祁生文、柳金峰、陈剑刚、崔一飞、王道杰、吕立群、余国安、介玉新、王学良、薛雷、李丽慧、陈星宇、刘方翠、张家豪。

引 言

阶梯-深潭系统是山区河流常见的微地貌形态,具有景观多样、生态友好的特点。该系统可以有效增加河床阻力、逐级消耗急流能量,从而稳定沟床和控制下切,抑制沟道和边坡侵蚀,减少泥石流物源及输移量。

人工阶梯-深潭系统作为近自然的沟道治理工程措施,能够起到防治水沙灾害、有效提升和保持沟道生态功能的作用。同时,人工阶梯-深潭系统具有因地制宜、就地取材、施工便捷的显著优势,在山区小流域山洪泥石流沟道治理中具有广泛的应用前景。

山区小流域沟道治理人工阶梯-深潭系统技术导则

1 范围

本文件规定了山区小流域沟道治理人工阶梯-深潭系统的布局、设计、施工以及检查维护。
本文件适用于山区小流域平均比降为3%~15%的山洪泥石流沟道治理。

2 规范性引用文件

本文件没有规范性引用文件。

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

阶梯-深潭结构 **step-pool structure**

山区河流或沟道中由大石块互锁堆积形成的阶梯以及水流对阶梯下游局部冲刷形成的深潭冲刷坑组成的河床结构。

3.2

阶梯-深潭系统 **step-pool system**

山区河流或沟道中多级阶梯-深潭结构组成的序列,阶梯和深潭交替出现,河流或沟道纵剖面呈现台阶状的起伏变化。

3.3

特征粒径 **characteristic grain size**

用来描述和量化泥沙颗粒大小的参数。

注:特征粒径主要包括 D_{95} 、 D_{90} 、 D_{84} 、 D_{50} 、 D_{16} 等,分别对应大于沟床95%、90%、84%、50%、16%等的泥沙颗粒的粒径。

3.4

拥堵系数 **jamming ratio**

设计洪水流量对应的河槽宽度与特征粒径之比。

注:拥堵系数越小,阶梯-深潭结构的稳定性越高,天然阶梯-深潭结构的拥堵系数阈值范围为5~6。

3.5

关键石块 **keystone**

在设计洪水条件下不发生移动,与阶梯中其他石块呈叠瓦状互锁,并发挥稳定作用的大型石块。

3.6

冲刷深度 **scour depth**

阶梯顶部到深潭底部的落差。

3.7

临界冲刷深度 critical scour depth

阶梯-深潭结构破坏时的冲刷深度。

3.8

消能率 energy dissipation rate

水流经过阶梯-深潭结构前后的能量消减率。

4 总体要求

4.1 应考虑小流域沟道治理的目标和需求,遵循近自然原则,因地制宜地布局、设计和施工人工阶梯-深潭系统。

4.2 人工阶梯-深潭系统符合下列要求:

- a) 应布局在山洪沟道上游段、泥石流沟道流通段以及需重点保护的河段;
- b) 设计要素应模仿自然阶梯-深潭系统的发育特征;
- c) 施工应就地取材、降低成本。

4.3 应定期进行检查维护,确保人工阶梯-深潭系统能够长效稳定运行。

5 基础数据收集调查

5.1 资料收集

5.1.1 应在现场调查前的准备阶段完成。

5.1.2 宜收集以下数据:

- a) 自然地理条件,包括地理位置、行政区划、交通状况、人类活动状况、气象水文等资料;
- b) 地质环境条件,包括地形地貌、地层岩性、水文地质等资料;
- c) 山洪泥石流灾害信息,包括山洪泥石流的暴发频率和规模;
- d) 邻近区域的上述相关调查资料。

5.2 现场调查

5.2.1 应包括以下内容:

- a) 自然地理及地质环境条件;
- b) 沟道洪水;
- c) 沟道形貌特征;
- d) 沟床的泥沙条件;
- e) 不稳定边坡分布情况;
- f) 主要植被类型及优势种。

5.2.2 应以现场调查为主,辅以必要的钻探、物探等手段。

5.2.3 可根据需求应用三维激光扫描仪、无人机、多普勒流速仪、差分 GPS 等仪器设备。

5.3 内容整理

5.3.1 应根据收集调查的内容,按照附录 A 进行整理。

5.3.2 应根据确定后的设计参数对附录 A 中的内容进行补充。

6 阶梯-深潭系统布局

6.1 一般规定

6.1.1 应根据小流域沟道特点和治理的要求,进行人工阶梯-深潭系统布局,确定各级阶梯-深潭结构的具体位置和防护措施。

6.1.2 人工阶梯-深潭系统布局应考虑小流域沟道治理的稳定性要求,统筹考虑其经济性和便利性。

6.2 控制性断面

6.2.1 应根据小流域沟道治理要求,确定设计洪水流量 Q_T ,且不低于30年一遇、不高于50年一遇洪水流量。

6.2.2 应根据设计洪水流量对应的河槽宽度和特征粒径,按公式(1)计算拥堵系数 J_r ,并确定拥堵系数小于或等于5的断面为沿程控制性断面:

$$J_r = W_s / D_{95} \quad \dots\dots\dots (1)$$

式中:

J_r —— 拥堵系数;

W_s —— 设计洪水流量对应的河槽宽度,单位为米(m);

D_{95} —— 大于沟床95%颗粒的粒径,单位为米(m)。

6.2.3 应优选沿程控制性断面逐级布设人工阶梯-深潭结构,如附录B中图B.1所示。

6.2.4 应根据沟床比降 S 和沟道平均宽度 $(W_s)_a$,确定人工阶梯-深潭结构的平均间距 $(L_s)_a$,并按公式(2)进行计算:

$$(L_s)_a = 1.86 (W_s)_a \times S^{0.33} \quad \dots\dots\dots (2)$$

式中:

$(L_s)_a$ —— 人工阶梯-深潭结构的平均间距,单位为米(m);

$(W_s)_a$ —— 设计洪水流量对应的河槽平均宽度,单位为米(m);

S —— 沟床比降。

6.2.5 如果相邻控制性断面沿水流方向的距离 L_s 大于河槽平均宽度 $(W_s)_a$,应根据人工阶梯-深潭结构的平均间距 $(L_s)_a$ 对控制性断面之间的河段补充布设,并优选拥堵系数小的断面,如图B.2所示。

6.2.6 各级人工阶梯-深潭结构的布设位置确定后,相邻人工阶梯-深潭结构的间距按 L_s 计算,阶梯的宽度按 W_s 计算。

6.3 防护措施

6.3.1 宜对人工阶梯-深潭系统最下游的1个~3个阶梯加强石块连接。

6.3.2 宜对人工阶梯-深潭系统布设区域内的不稳定边坡采取防护措施。

6.3.3 宜采用本土物种对治理沟道的边坡和沟床阶地进行植被恢复。

7 阶梯-深潭系统设计

7.1 一般规定

7.1.1 应根据人工阶梯-深潭系统的布局,核算阶梯-深潭系统的能量分布和平均流速。

7.1.2 人工阶梯-深潭系统关键石块的粒径 D_{KS} 应不低于 D_{95} 。如果 D_{95} 小于1.0m,则按1.0m进行设计。

7.1.3 应根据人工阶梯-深潭系统的布局和核算结果,估算构建人工阶梯-深潭系统所需的天然石块数量。

7.1.4 应根据设计结果,形成人工阶梯-深潭系统的设计方案。

7.2 阶梯-深潭系统逐级冲刷形态

7.2.1 应确定人工阶梯-深潭系统逐级结构的冲刷形态,并包括以下内容。

a) 阶梯在设计洪水流量下的冲刷深度 H_s 按公式(3)、公式(4)联立进行计算:

$$H_s = 3.0 h_s \left(\frac{a}{h_s} \right)^{0.60} \left[0.5 \left(\frac{D_{84}}{D_{50}} \right)^{0.84} + \frac{D_{50}}{D_{16}} \right]^{-0.19} (1 - e^{-0.25 \frac{L_s}{h_s}}) \quad \dots\dots\dots (3)$$

$$a = [S - 0.95 (g^{0.2} D_{90t}^{0.6} q^{-0.4})^{1.90} (1 - e^{-0.25 \frac{L_s}{h_s}})] L_s \quad \dots\dots\dots (4)$$

式中:

- H_s —— 阶梯在设计洪水流量下的冲刷深度,单位为米(m);
- h_s —— 阶梯上的水流比能(速度水头与水深之和),单位为米(m);
- a —— 人工阶梯-深潭结构相对于局部床面的地形落差,单位为米(m);
- g —— 重力加速度,单位为米每二次方秒(m/s^2);
- D_{90t} —— 考虑设计阶梯的局部床面大于沟床 90% 颗粒的粒径,单位为米(m);
- q —— 阶梯所在位置的单宽水流流量,单位为二次方米每秒(m^2/s)。

b) 深潭的冲刷坑长度 L_{scour} 按公式(5)进行计算:

$$L_{scour} = 6.17a \left(\frac{a}{h_s} \right)^{0.8} \quad \dots\dots\dots (5)$$

式中:

- L_{scour} —— 深潭的冲刷坑长度,单位为米(m)。

7.2.2 冲刷形态示意图见附录 C 中图 C.1。

7.3 阶梯-深潭系统能量调控

7.3.1 应计算水流经过人工阶梯-深潭系统的能量分布,确定消能需求。

7.3.2 应根据设计洪水流量 Q_f ,计算人工阶梯-深潭系统逐级消能指标,包括各级阶梯处的消能率 η 、水流比能 h_s 。能量调控示意图见图 C.1。

7.3.3 第 i 级阶梯的消能指标分别按公式(6)、公式(7)进行计算:

$$(\eta)_i = 0.23 \left[\frac{Q_f^3 / (W_s)_i^2 g}{(H_s)_i} \right]^{-0.52} \quad \dots\dots\dots (6)$$

$$(h_s)_i = \sum_{j=1}^{i-1} z_j - \sum_{j=1}^{i-1} [\eta_j \times (H_s + h_s)_j] \quad \dots\dots\dots (7)$$

式中:

- $(\eta)_i$ —— 第 i 级阶梯的消能率;
- $(H_s)_i$ —— 第 i 级阶梯在设计洪水流量下的冲刷深度,单位为米(m);
- $(h_s)_i$ —— 第 i 级阶梯的水流比能,单位为米(m);
- z_i —— 第 i 级阶梯落差,阶梯顶点与第 $(i+1)$ 级阶梯顶点高差,单位为米(m)。

7.3.4 人工阶梯-深潭系统逐级结构的消能率 η 规定如下。

a) 宜达到以下要求:

- 1) 低级别洪水(小于 5 年一遇)条件下,消能率 η 大于或等于 40%;
- 2) 50 年一遇洪水条件下,消能率 η 大于或等于 20%。

b) 对于消能率低于本条 a) 要求的结构,可增加关键石块粒径或加密布置阶梯,直至消能率达到要求。

7.3.5 应根据调整后的关键石块粒径,按 7.3.3 条重新核算,确保水流比能 h_s 沿程均匀分布。

7.4 阶梯-深潭系统河段平均流速

7.4.1 应计算水流通过人工阶梯-深潭系统的平均流速 U ,按公式(8)、公式(9)联立进行计算:

$$U = 1.88 \frac{d (W_s)_a}{(d + 2 (W_s)_a) D_{84r}} \sqrt{g \frac{d (W_s)_a}{d + 2 (W_s)_a} S_e} \dots\dots\dots (8)$$

$$d = \frac{Q_f}{U (W_s)_a} \dots\dots\dots (9)$$

式中:

U ——河段平均流速,单位为米每秒(m/s);

D_{84r} ——考虑设计人工阶梯-深潭系统的河段大于沟床 84% 颗粒的粒径,单位为米(m);

S_e ——水流能坡,根据第一级和最后一级人工阶梯-深潭结构的落差和水流比能计算;

d ——河段平均水深,单位为米(m)。

7.4.2 在设计洪水流量条件下平均流速 U 宜低于 3 m/s。如果超过 3 m/s,宜采用加密布置阶梯、增加关键石块粒径等方法对人工阶梯-深潭系统进行局部调整。

7.5 计算步骤

7.5.1 应根据附录 A 中治理沟道上游的沟床比降 S_{up} 和河槽平均宽度 $(W_{up})_a$,按 7.4.1 条估算人工阶梯-深潭系统入口的流速与水深,计算第 1 级结构的水流比能 $(h_s)_1$,并按 7.2.1 条 a) 和 7.3.3 条计算冲刷深度 $(H_s)_1$ 和消能率 $(\eta)_1$ 。

7.5.2 应通过迭代计算得到第 2 级以及下游各级结构的水流比能 h_s 、冲刷深度 H_s 和消能率 η 。

8 阶梯-深潭结构设计

8.1 一般规定

8.1.1 应根据人工阶梯-深潭系统的设计方案,设计满足稳定性要求的各级结构。

8.1.2 应确定各级人工阶梯-深潭结构的布置型式。

8.2 稳定性计算

8.2.1 应计算人工阶梯-深潭结构的临界冲刷深度 H_{Scri} ,作为结构稳定性要求的量化指标,按公式(10)进行计算:

$$H_{Scri} = 1.24z + 0.94 \sqrt[3]{Q_{50}^2 / W_s^2 g} \dots\dots\dots (10)$$

式中:

H_{Scri} ——人工阶梯-深潭结构的临界冲刷深度,单位为米(m);

z ——相邻两级阶梯顶点的高差,单位为米(m)。

8.2.2 人工阶梯-深潭结构的冲刷深度 H_s 应小于临界冲刷深度 H_{Scri} 。

8.3 结构设计

8.3.1 应将关键石块布置在阶梯断面深泓处,在关键石块底部宜埋设粒径大于或等于 0.5 m 的基础石块,阶梯石块呈叠瓦状互锁排列,如附录 D 中图 D.1 所示。

8.3.2 人工阶梯-深潭结构横断面的宽度根据 6.2.6 确定,布置型式如图 D.2 所示。

8.3.3 宜采用粒径大于或等于 0.5 m 的石块嵌入岸坡形成岸石,如图 D.2 所示。

8.3.4 应集中水流通过阶梯且控制主流在沟道深泓处,水流方向如图 D.2 所示。

8.3.5 阶梯石块之间宜采用粒径大于或等于 0.2 m 的石块进行填充,如图 D.3 所示。

9 施工

9.1 应编制施工组织设计,做好施工准备。

9.2 宜在非汛期施工。

9.3 施工过程中应减少对治理沟道的破坏。

9.4 施工结束后应对施工迹地进行恢复。

10 检查维护

10.1 巡视检查频次枯水期宜不低于 3 个月 1 次,汛期可增加。

10.2 巡视检查内容应包括人工阶梯-深潭结构、沟道冲刷和岸边稳定情况。

10.3 巡视检查发现异常情况,应及时报告并加强维护。

10.4 维护时机宜为汛期结束后或下一个汛期前。

附 录 A
(资料性)
基础数据清单表样

基础数据清单表样见表 A.1。

表 A.1 基础数据清单表样

序号	参数	释义	值	备注
1	$Q_{50}/(\text{m}^3/\text{s})$	50 年一遇洪水流量		资料收集或现场调查
	$Q_{30}/(\text{m}^3/\text{s})$	30 年一遇洪水流量		资料收集或现场调查
	$Q_f/(\text{m}^3/\text{s})$	设计洪水流量		
2	S	沟床比降		
3	W_s/m	设计洪水流量对应的河槽宽度		Q_f 确定后计算
4	$(W_s)_a/\text{m}$	设计洪水流量对应的河槽平均宽度		
5	S_{up}	治理沟道上游沟床比降		阶梯断面和 Q_f 确定后计算
6	$(W_{\text{up}})_a/\text{m}$	治理沟道上游河槽平均宽度		
7	D_{95}/m	沟床特征粒径		
	D_{90}/m			
	D_{84}/m			
	D_{50}/m			
	D_{16}/m			
	$D_{90\tau}/\text{m}$			阶梯断面和关键石 块确定后计算
	$D_{84\tau}/\text{m}$			

附录 B

(资料性)

人工阶梯-深潭系统布局示意图

人工阶梯-深潭系统布局示意图如图 B.1 和图 B.2 所示。

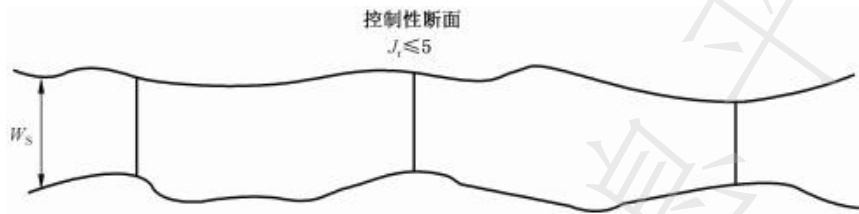


图 B.1 人工阶梯-深潭系统控制性断面示意图

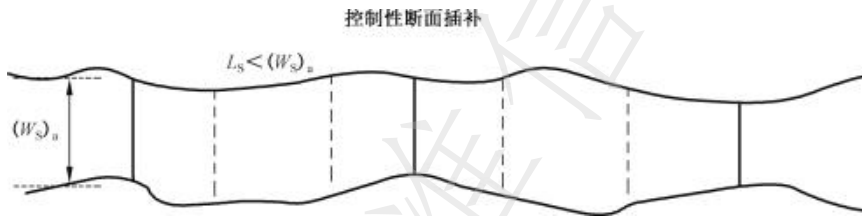


图 B.2 人工阶梯-深潭系统控制性断面插补示意图

附录 C

(资料性)

人工阶梯-深潭系统设计示意图

人工阶梯-深潭系统设计示意图如图 C.1 所示。

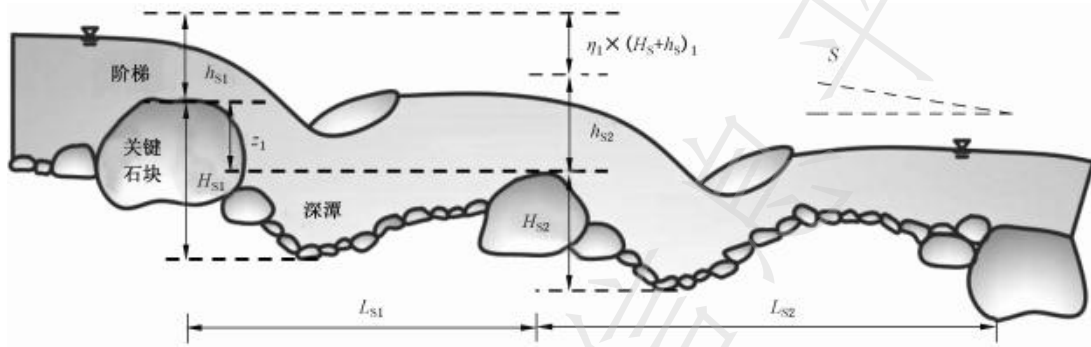


图 C.1 人工阶梯-深潭系统冲刷形态剖面 and 能量计算示意图

附录 D

(资料性)

人工阶梯-深潭结构设计示意图

人工阶梯-深潭结构设计示意图如图 D.1~图 D.3 所示。

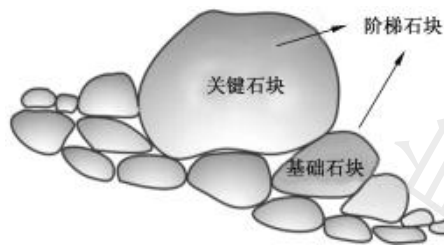


图 D.1 叠瓦状人工阶梯-深潭结构建造剖面示意图



图 D.2 人工阶梯-深潭结构布置俯视示意图

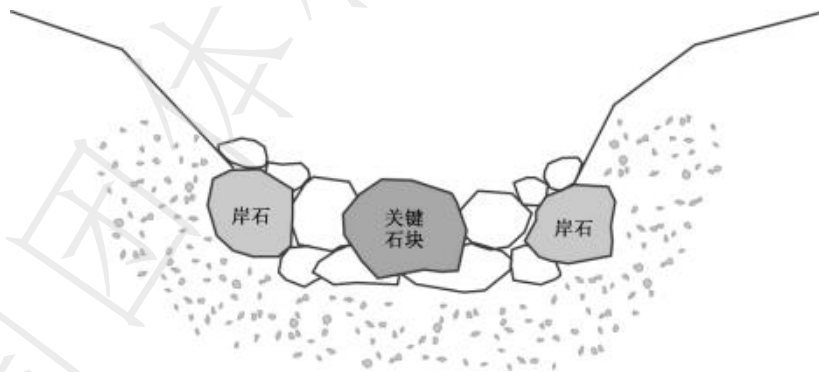


图 D.3 人工阶梯-深潭结构布置正视示意图

中国水利学会
团体标准
山区小流域沟道治理人工阶梯-深潭
系统技术导则

T/CHES 129—2024

*

中国标准出版社出版发行
北京市朝阳区和平里西街甲2号(100029)

网址 www.spc.net.cn

总编室:(010)68533533 发行中心:(010)51780238

读者服务部:(010)68523946

中国标准出版社秦皇岛印刷厂印刷
各地新华书店经销

*

开本 880×1230 1/16 印张 1.25 字数 19 千字
2025年2月第1版 2025年2月第1次印刷

*

书号: 155066·5-10166 定价 38.00 元

如有印装差错 由本社发行中心调换
版权专有 侵权必究
举报电话:(010)68510107



T/CHES 129-2024